مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
ص ۳۴۶-۳۳۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱
تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱

ارزیابی کارایی مدل SWMM به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب شهری (مطالعهٔ موردی: بخشی از منطقهٔ ۲۲ تهران)

❖ **فریبا زکی‌زاده**؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران.

❖ **علیرضا مقدم‌نیا***؛ دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران.

❖ **علی سلاجقه**؛ استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **عبدالله اردشیر**؛ دانشیار دانشکدهٔ عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

چکیده

در طی چند دههٔ گذشته با توجه به رشد جمعیت و توسعهٔ شهری، رواناب شهری افزایش یافته و منجر به مشکلات مختلفی از جمله آبگرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب شده است. به منظور مدیریت رواناب شهری لازم است میزان رواناب به درستی برآورد گردد. از جمله مدل‌های پرکاربرد برای برآورد رواناب شهری مدل SWMM است. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی کارایی مدل SWMM در شبیه سازی دبی جریان در حوزهٔ آبخیز شهری در منطقهٔ ۲۲ تهران است. در ابتدا پارامترهای مورد نیاز مدل محاسبه شد. برای واسنجی و ارزیابی مدل، رواناب متناظر با سه واقعهٔ بارندگی در خروجی حوزه اندازه‌گیری شد و با رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه شد. نتایج به‌دست آمده از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی در هر دو واقعهٔ مورد بررسی، انطباق خوبی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. از فرآیند واسنجی برای برآورد مقدار بهینهٔ پارامترهای ورودی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را با مقدار نش ساتکلیف ۰/۷۲ تأیید می‌کند. همچنین مقدار RSR برای ارزیابی مدل ۰/۵۳ به دست آمد که نشان‌دهندهٔ قابل قبول بودن مدل است و نشان می‌دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زهکشی رواناب شهری منطقهٔ مورد مطالعه استفاده نمود.

کلید واژگان: تحلیل حساسیت، رواناب شهری، صحت سنجی، مدل SWMM، واسنجی

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۱۵۱۴۴۱۳۸۱+
Email: a.moghaddamnia@ut.ac.ir

۱. مقدمه

سالانه در نقاط مختلف جهان، جان و مال بسیاری از مردم در اثر وقوع سیل به مخاطره می‌افتد. سیل یکی از بلایای طبیعی است و بیشترین میزان خسارت را در جهان به خود اختصاص می‌دهد. به طوری‌که یک سوم خسارات اقتصادی بلایای طبیعی مربوط به سیل است و دو سوم جمعیت کرهٔ زمین به طور مستقیم از عواقب آن متأثر می‌باشند. بیش از نیمی از خسارات سیل در دنیا در آسیا اتفاق می‌افتد [۲]. علی رغم توجه زیادی که تاکنون به پدیدهٔ سیلاب در نواحی غیر شهری شده است، توجه به این رخداد در شهرها از سابقه‌ای طولانی برخوردار نیست به خصوص در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، برنامه‌ریزی کنترل سیل شهری توسط مؤسسات دولتی و بدون مشارکت نهادهای خصوصی و مردم انجام شده که عمدتاً از هماهنگی مناسبی نیز برخوردار نیستند. این امر می‌تواند از جنبه‌های مختلف به پیشرفت و توسعهٔ شهرها نیز آسیب برساند و روند رشد آن‌ها را با تأخیر مواجه سازد [۲۰]. شهرسازی، با افزایش سطوح نفوذناپذیر، منجر به مشکلات متعددی پیرامون مسئلهٔ کمیت و کیفیت رواناب می‌شود. افزایش سطوح نفوذناپذیر، خصوصیات طبیعی جریان را تغییر می‌دهد و منجر به افزایش حجم رواناب و مقدار اوج جریان، کاهش تغذیه و در نتیجه تراز آب‌های زیرزمینی و کاهش جریان پایه می‌شود. به‌علاوه، رواناب شهری، ساز و کار اصلی انتقال آلوده کننده‌های متعددی نظیر رسوبات، فلزات سنگین و مواد سمی به منابع آب مجاور است که منجر به کاهش کیفیت آب می‌شوند [۱]. مدل‌های حوزهٔ آبخیز، به طور فزاینده‌ای، در فرایند تصمیم‌گیری، به منظور تحلیل محدودهٔ و سیعی از مسائل کیفی و کمی آب دخیل هستند. مدل‌های شبیه‌سازی نقش اصلی در اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های مدیریت حوزهٔ آبخیز، با ارائه راه‌هایی برای ارزیابی مشارکت نسبی منابع مختلف در تخریب دارند [۱]. مدل مدیریت رواناب EPA-SWMM، یک مدل دینامیکی بارش- رواناب است که برای شبیه‌سازی کیفیت و کمیت وقایع منفرد یا پیوستهٔ رواناب شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل به طور گسترده‌ای برای برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و طراحی مربوط به سیستم‌های زهکشی در مناطق شهری استفاده می‌شود [۱۷]. در ارتباط با شبیه‌سازی رواناب در حوزه‌های شهری با به‌کارگیری مدل SWMM، مطالعات بسیاری در سراسر دنیا صورت گرفته است. در پژوهشی در کرهٔ جنوبی کارایی مدل SWMM در تعدادی از حوزه‌های آبخیز طبیعی بررسی شد [۹]. در مطالعه‌ای از مدل SWMM برای برآورد رواناب شهر جینان در چین استفاده شد. چهارده رخداد برای اعتبارسنجی و بررسی کارایی مدل مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت دریافتند که این مدل قابلیت استفاده در شهرهای بزرگ را دارد [۲۲]. در تحقیقی در دو حوزهٔ آبخیز شهری از آتن یونان، به واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM پرداختند. در این پژوهش به منظور کاهش پیچیدگی فرایند واسنجی فقط از دو پارامتر ورودی مدل (عرض حوزهٔ آبخیز و درصد نفوذناپذیری) استفاده شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل دو واقعه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند به خوبی مقادیر مشاهداتی را برآورد نماید [۱۱]. در مطالعه‌ای کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب در شهرک امام علی (ع) شهر مشهد ارزیابی شد. برای واسنجی و ارزیابی مدل، رواناب متناظر با سه واقعهٔ بارندگی در خروجی حوزه اندازه‌گیری شد و با رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه شد. نتایج نشان داد که سازگاری خوبی بین دبی و عمق رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد [۱۰]. در بررسی در بندرعباس برای شبیه‌سازی رواناب و مشخص نمودن نقاط حساس به آبگرفتگی از مدل SWMM استفاده شد. از ۵ واقعهٔ بارندگی برای واسنجی و اعتبار سنجی دبی سیلاب مدل استفاده شد. یافته‌های به‌دست آمده از واسنجی (میانگین ضریب نش ۰/۷۵ و ضریب تعیین ۰/۸۳) نشان داد که نتایج مدل انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. نتایج اعتبار سنجی (میانگین ضریب نش ۰/۷۹ و ضریب تعیین

۰/۹۲) بیانگر دقت بالای مدل برای این منطقه می‌باشد [۷]. در مطالعه‌ای برای ارزیابی کارایی کانال‌های جمع‌آوری رواناب با استفاده از مدل SWMM در حوزهٔ شهری لیکک استان کهگیلویه و بویر احمد، از سه واقعهٔ بارندگی برای واسنجی مدل و به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی از دو واقعه استفاده شد. کارایی مدل در برآورد دبی اوج و حجم جریان با استفاده از ضریب ناش ساتکلیف، خطای مجموع مربعات و ضریب BIAS مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی، کارایی و دقت مدل را تأیید می‌کند [۱۸]. مدل SWMM ابزاری قدرتمند برای محاسبات زهکشی شهری و مدیریت رواناب می باشد و سادگی کار و قدرت تحلیل کمی و کیفی سیلاب ناشی از وقایع بارش منفرد و پیوسته همراه با در نظرگرفتن فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی دخیل در تولید رواناب، در قالب شبکهٔ زهکشی زیرحوزه‌ها و کلیهٔ مجاری عبور آب، از ویژگی‌های این مدل به شمار می‌رود [۱۳]. منطقهٔ ۲۲ شهرداری تهران، به عنوان جدیدترین منطقهٔ شهری تهران، با مشکلات متعددی از قبیل توسعهٔ فیزیکی شهر، تخریب و از بین رفتن منابع‌طبیعی و کمبود سیستم مدیریت سیلاب مواجه است. با توجه به ویژگی‌های این ناحیه و فقدان مطالعات کافی در ارزیابی کارایی مدل در این منطقه، مطالعهٔ حاضر به تصمیم‌گیری بهتر در مورد برنامه‌های آب شهری در این منطقه برای توسعهٔ پایدار، کمک می‌نماید. با توجه به اهمیت موضوع، تعیین پارامترهای مهم ورودی مدل SWMM و واسنجی و ارزیابی عملکرد مدل در بخشی از منطقهٔ ۲۲ استان تهران، به منظور به‌کارگیری مدل در شبیه سازی رواناب شهری، هدف و بستر تحقیق حاضر قرار گرفته است. نتایج می‌تواند به منظور شناخت پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر رواناب شهری و کاهش میزان خطرات ناشی از آن مورد استفاده قرار گیرد، همچنین با تعیین مقادیر بهینهٔ پارامترهای ورودی مدل، امکان به کارگیری مدل در شبیه‌سازی رواناب شهری برای بارش‌های با دورهٔ بازگشت مختلف فراهم می‌شود.

۲. روش‌شناسی

۲.۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

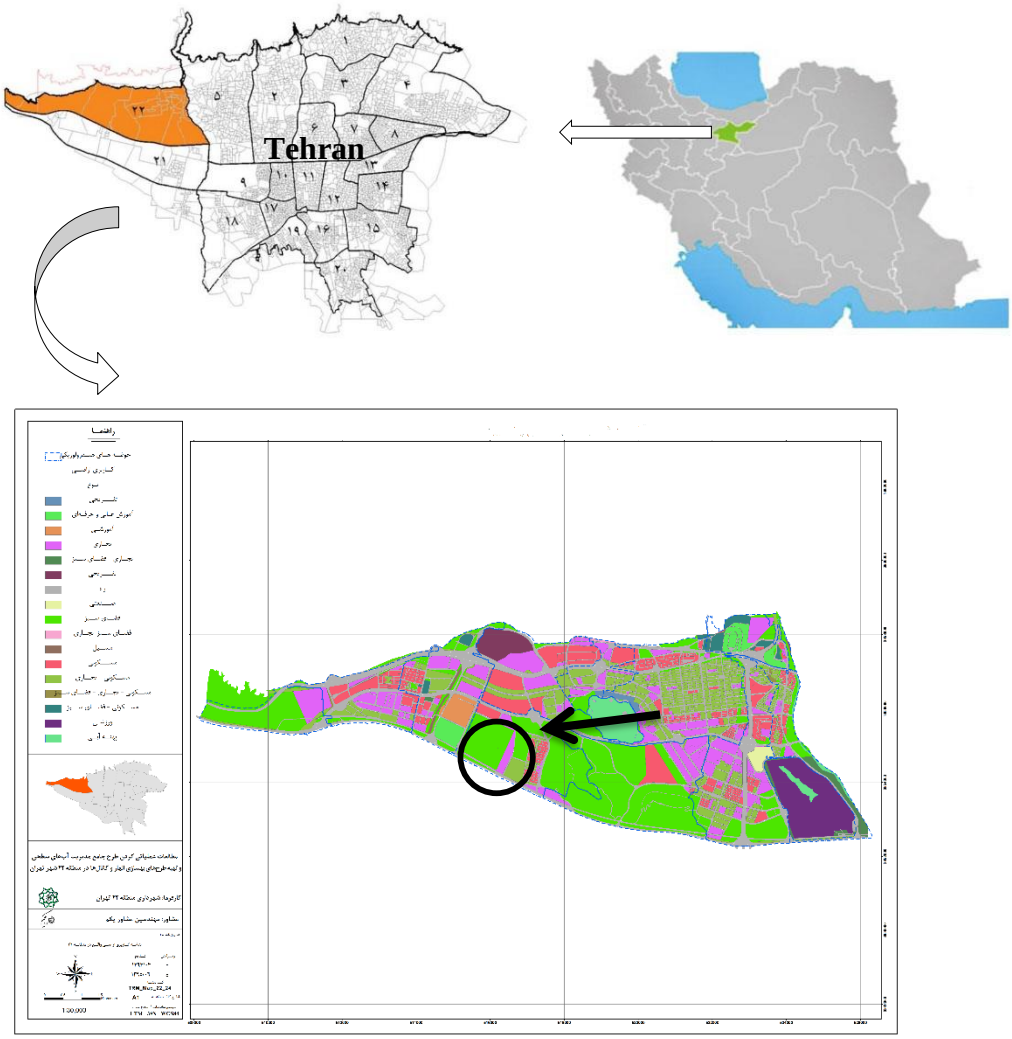
منطقهٔ ۲۲ شهرداری تهران، با وسعتی حدود ۶ هزار هکتار محدودهٔ شهری و ۱۸۰۰۰ هکتار حریم شهر، یک هفتم مساحت شهر تهران را تشکیل می‌دهد. این منطقه بین طول‌های شرقی ″۱۰ ′۵ °۵۱ تا ″۴۰ ′۲۰ °۵۱ و عرض‌های شمالی ″۱۶ ′۳۲ °۳۵ تا ″۱۹ ′۵۷ °۳۵ در قسمت شمال‌غربی شهر تهران و در پایین دست حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کن و وردیج واقع شده است. محدودهٔ مورد مطالعه بخشی از منطقهٔ ۲۲ تهران است (شکل ۱).

۲,۲. روش تحقیق

۲,۲.۱. تعیین داده‌های مورد نیاز مدل

تعیین مرز حوزه با استفاده از نقشهٔ توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، نقشهٔ مسیر کانال‌ها، نقشه‌های شهری شامل خیابان‌ها، بلوارها و فضای سبز و نقشهٔ بلوک‌های ساختمانی که از شهرداری منطقهٔ ۲۲ تهران دریافت شد و بازدیدهای میدانی انجام شد. مرز زیرحوزه‌ها بر اساس جهت حرکت جریان آب داخل کانال‌ها، شیب زمین، نقشهٔ کاربری اراضی (مربوط به سال ۱۳۹۶ و در مقیاس ۱:۳۰۰۰۰) و بازدیدهای میدانی تعیین شد. در نهایت منطقهٔ مورد مطالعه به ۴۲ زیرحوزه تقسیم شد. مساحت، عرض معادل و شیب متوسط زیرحوزه‌ها مستقیماً با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. در صد مناطق نفوذناپذیر در هر زیرحوزه با استفاده از نقشهٔ کاربری اراضی به دست آمد. مقادیر ضریب زبری در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ذخیرهٔ سطحی در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی از تلفیق اطلاعات میدانی، نقشه‌های کاربری اراضی و جداول راهنمای مدل به دست آمد. به منظور تعیین حداکثر پتانسیل ذخیره (S) از روش شماره منحنی (CN) برای هر زیرحوزه استفاده شده است. از این رو بر اساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک و برای انواع مختلف

کاربری اراضی و بر اساس جداول کمکی مقدار شمارهٔ منحنی تعیین شد. برای تعیین خصوصیات کانال‌ها در مدل شامل شکل مقطع، عرض کانال، طول کانال، حداکثر عمق کانال از بازدید میدانی و برای تعیین ضریب زبری کانال از بازدید میدانی و جداول مربوطه استفاده شد. در نهایت ۱۸۸ کانال به مدل معرفی شد. مشخصات گره‌ها شامل رقوم کف و حداکثر عمق گره از بازدیدهای میدانی و با به‌کارگیری نقشهٔ رقوم ارتفاعی منطقه (با اندازهٔ پیکسل ۳ متر) که از سازمان نقشه‌برداری کشور دریافت شد، به دست آمد. در نهایت ۲۶۶ گره به مدل معرفی شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه بر روی نقشهٔ منطقهٔ ۲۲ تهران

۲.۲.۲. تحلیل حساسیت مدل

در این مطالعه برای انجام تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی مدل SWMM، از روش تحلیل حساسیت جزئی (مطلق) استفاده شد [۱۴].از بین پارامترهای موجود، ۸ پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب شد. مقدار اولیه این ۸ پارامتر تا ۵۰ درصد کاهش و افزایش یافت و مدل برای آن‌ها اجرا شد. برای تحلیل حساسیت از بارش

طراحی با دورهٔ بازگشت ۲۰ سال استفاده شد. از بین نتایج مختلف مدل، آبدهی اوج سیلاب که مؤثرترین پارامتر برآورد سیلاب است، به عنوان متغیر وابسته برای تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مدل انتخاب شد.

۳.۲.۲. واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در این مطالعه سه واقعهٔ رگباری همراه با رواناب متناظر آن‌ها برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شد. مقدار بارندگی وقایع رگباری در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۳/۰۱، ۱۳۹۷/۰۳/۱۱ و ۱۳۹۷/۰۸/۲۳ در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. عمق و سرعت رواناب متناظر با این رگبارها در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در کانال خروجی حوزه اندازه‌گیری شد. از وقایع اول و سوم برای واسنجی مدل استفاده شد. به این صورت که ۸ پارامتر ورودی با توجه به نتایج تحلیل حساسیت و بر اساس اولویت تأثیر بر خروجی مدل، در دامنهٔ تغییرات مجاز هر پارامتر (جدول ۱) تغییر داده شدند. جهت تجزیه و تحلیل نتایج مدل در مرحلهٔ واسنجی از معیار نش ساتکلیف و RSR[۱] استفاده شد. در مرحلهٔ ارزیابی مدل از واقعهٔ دوم استفاده گردید. مقدار بهینهٔ پارامترهای ورودی مدل از میانگین مقادیر واسنجی شده برای دو واقعهٔ دیگر به دست آمد. کارایی مدل نیز با استفاده از معیارهای نش ساتکلیف و RSR سنجیده شد.

$$NS = ۱ - \frac{\sum_{i=۱}^{n}(Q_{oi} - Q_{ei})^۲}{\sum_{i=۱}^{n}(Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^۲}$$

NS ضریب ناش ساتکلیف، Q_{oi} مقدار مشاهده شدهٔ دبی سیل، Q_{ei} مقدار برآورد شدهٔ دبی سیل و $\bar{Q}_{oi}$ میانگین داده‌های مشاهده شده دبی سیل و n شماره‌ای از مقادیر دبی می‌باشند. اگر مقدار NS از منفی بی‌نهایت به سمت صفر میل کند، داده‌ها خوب برآورد گردیده و هر چه مقدار این معیار به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ کارایی بیشتر مدل می‌باشد به علاوه در یک مدل عالی مقدار NS=1 خواهد شد.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=۱}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^۲}}{\sqrt{\sum_{i=۱}^{n}(Y_i^{obs} - Y^{mean})^۲}}$$

Y^{Obs} مقدار مشاهده شدهٔ دبی سیل، Y^{Sim} مقدار برآورد شدهٔ دبی سیل، Y^{mean} میانگین داده‌های مشاهده شدهٔ دبی سیل و n شماره‌ای از مقادیر دبی می‌باشد.

در شرایطی که RSR در فاصلهٔ صفر تا ۰/۵ تغییر کند نتایج مدل عالی است و RSR بزرگتر از ۰/۷ غیر قابل قبول است [۱۱].

جدول ۱. مقادیر اولیه، مقادیر بهینه و دامنهٔ تغییرات قابل قبول متغیرهای مدل SWMM

متغیر	مقادیر اولیه	دامنه تغییرات مجاز	مقادیر بهینه	منبع
درصد مناطق نفوذناپذیر	-	± ۳۰ ٪	-	[۱۹]
ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر (میلیمتر)	۱//۹	۰/۲۵ -۲/۴۸	۱/۳۴۹۵	[۸]
عرض معادل (متر)	-	± ۳۰ ٪	-	[۱۹]
ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱۱	۰/۰-۰۱۱/۰۳۳	۰/۰۲۳۴۵	[۸]
درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی	۲۵	٪۱ - ٪۴۵	۳۲	[۴]
شیب (٪)	-	± ۳۰ ٪	-	[۱۹]
ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذپذیر (میلیمتر)	۳/۸	۲/۵-۴۸/۰۸	۳/۸	[۸]

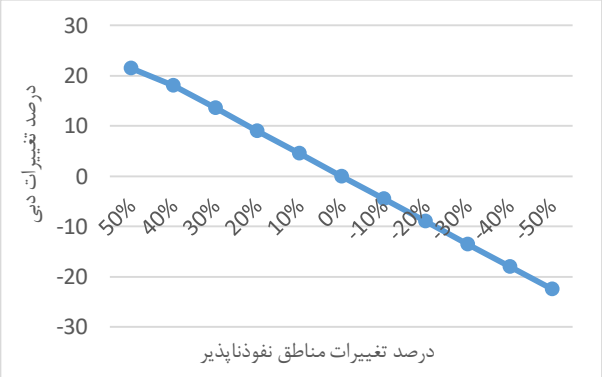
[۱] RMSE-observations standard deviation ratio

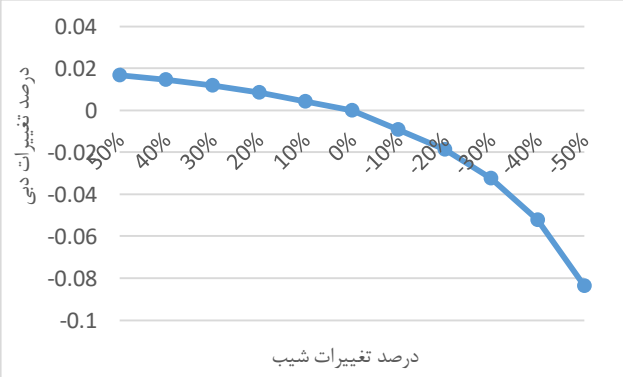
ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر	۰/۱۵	۰/۰-۰۲/۸	۰/۱۵	[۸]

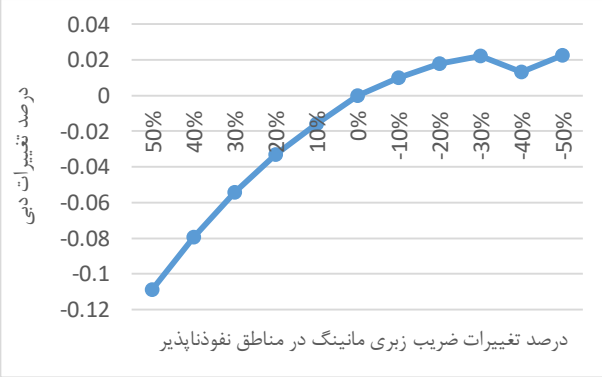
۳. نتایج

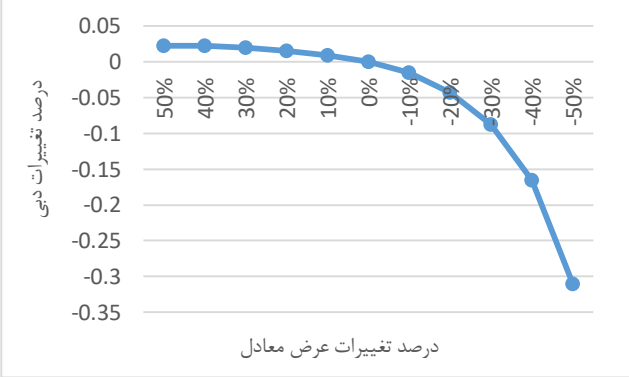
۳.۱. نتایج تحلیل حساسیت پارامترها

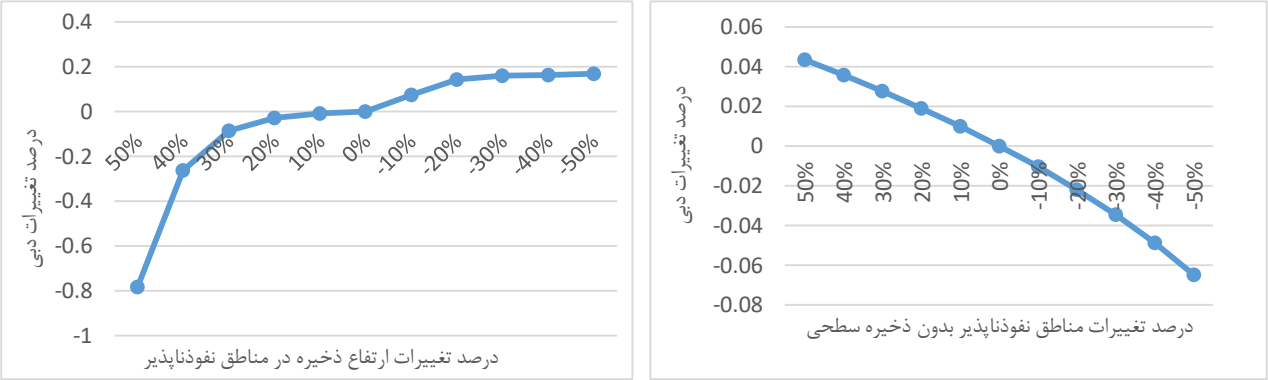
در بین ۸ پارامتر بررسی شده در این مطالعه ترتیب پارامترها از حساس‌ترین تا کم‌حساس‌ترین شامل درصد مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی، شیب، ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذپذیر و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر می‌با شد. با افزایش شیب، عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی دبی اوج افزایش می‌یابد. با افزایش ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذ نا پذیر و ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر دبی اوج کاهش می‌یابد. نتایج حا صل از تحلیل حساسیت در شکل (۲) آمده است.











شکل ۲. تحلیل حساسیت پارامترهای مدل و تأثیر آن بر دبی اوج

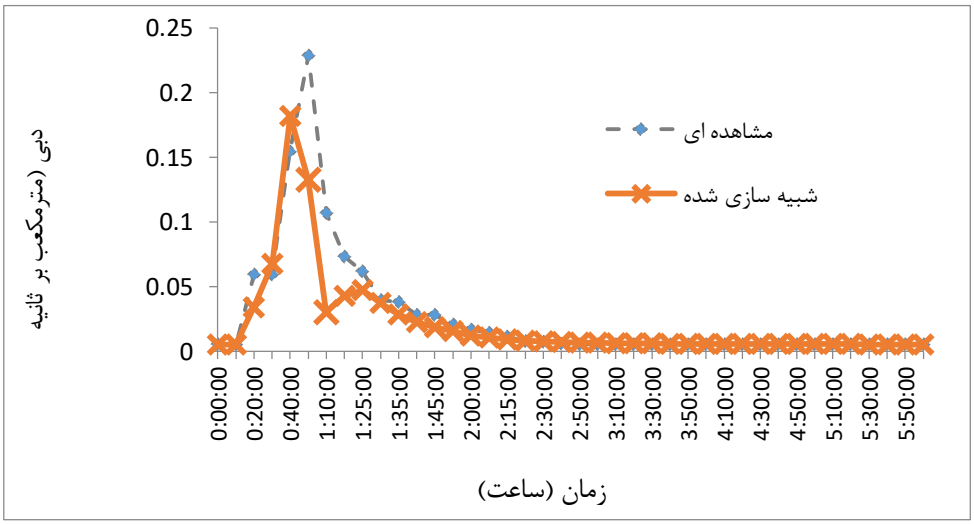
۳.۲. نتایج واسنجی مدل SWMM

بعد از مشخص شدن پارامترهای حساس از آن‌ها برای واسنجی مدل استفاده گردید. مقادیر اولیه، دامنهٔ تغییرات این پارامترها و مقادیر بهینه بدست آمده در مرحلهٔ واسنجی، در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که ذکر شد برای واسنجی مدل از وقایع ۱۳۹۷/۰۳/۰۱ و ۱۳۹۷/۰۸/۲۳ استفاده شد و برای تجزیه و تحلیل نتایج، معیار نش ساتکلیف و RSR محاسبه شد. نتایج آماری حاصل از فرآیند واسنجی در جدول (۲) ارائه شده است.

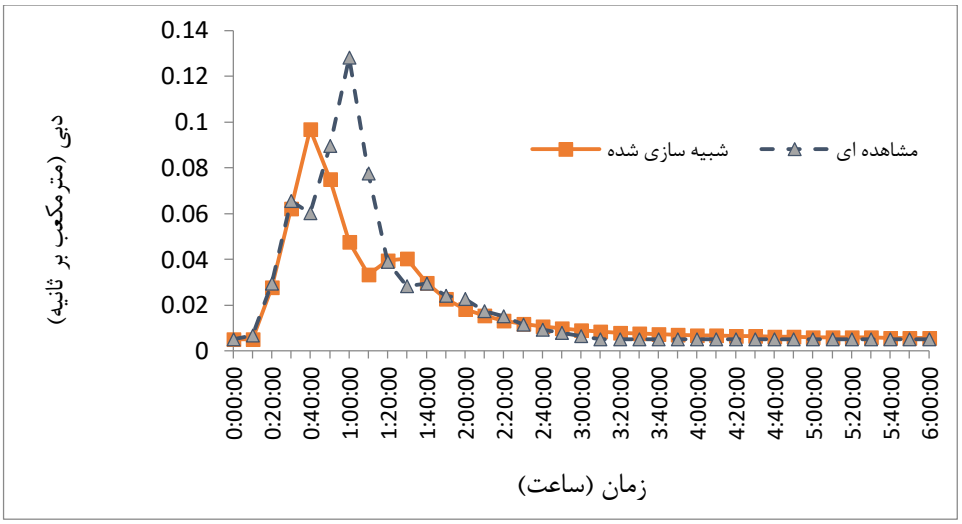
همچنین هیدروگراف خروجی دبی جریان وقایع در شکل‌های (۳ و ۴) قابل مشاهده است.

۳.۳. نتایج ارزیابی مدل SWMM

از واقعهٔ ۱۳۹۷/۰۳/۱۱ برای ارزیابی مدل استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج، معیار نش ساتکلیف و RSR محاسبه شد. نتایج حاصل از فرآیند ارزیابی در جدول (۳) ارائه شده است و هیدروگراف خروجی دبی جریان این واقعه در شکل (۵) نشان داده شده است.



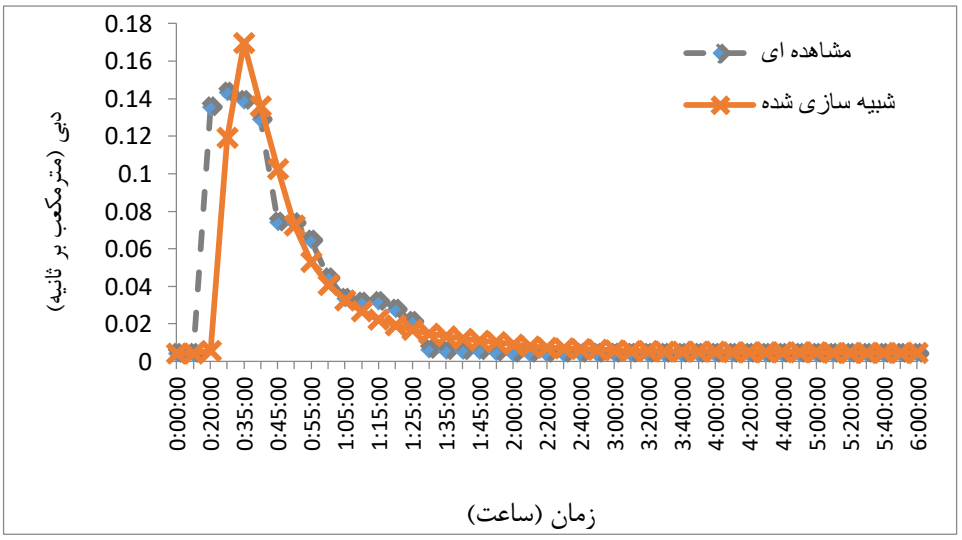
شکل ۳. هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در واسنجی مدل (۱۳۹۷/۰۸/۲۳)



شکل ۴. هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در واسنجی مدل (۱۳۹۷/۰۳/۰۱)

جدول ۲. نتایج واسنجی مدل SWMM

تاریخ بارندگی	معیار نش ساتکلیف	RSR
۱۳۹۷/۰۳/۰۱	۰/۶۵	۰/۵۹
۱۳۹۷/۰۸/۲۳	۰/۷۸	۰/۴۷



شکل ۵. هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در ارزیابی مدل (۱۳۹۷/۰۳/۱۱)

جدول ۳. نتایج ارزیابی مدل SWMM

تاریخ بارندگی	معیار نش ساتکلیف	RSR
۱۳۹۷/۰۳/۱۱	۰/۷۲	۰/۵۳

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه در مرحلهٔ نخست، در فرآیند تحلیل حساسیت، اولویت تأثیر پارامترهای ورودی مدل SWMM بر خروجی سنجیده شد. از ۸ پارامتر ورودی مدل SWMM، درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خروجی داشت و به عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد که با نتایج مطالعات پیشین [۷، ۱۴،۱۶] مطابقت دارد. تعیین پارامترهای حساس در مبحث رواناب شهری می‌تواند در اصلاح و بهبود شرایط منطقه، نقشهٔ راه اقدامات مناسب اصلاحی از سوی دستگاه‌های مربوطه را تبیین نماید.

در مرحلهٔ بعد، از فرآیند واسنجی برای برآورد مقدار بهینهٔ پارامترهای ورودی مدل استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی در هر دو واقعه مورد بررسی انطباق خوبی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. از نتایج

فرایند واسنجی می‌توان برای برآورد مقدار بهینهٔ پارامترها در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه به منطقهٔ مورد نظر هستند استفاده نمود. نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را با مقدار نش ساتکلیف بالاتر از ۰/۵ تأیید می‌کند. همچنین مقدار RSR برای این واقعه ۰/۵۳ به دست آمد که نشان‌دهندهٔ قابل قبول بودن مدل است و نشان می‌دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه سازی رواناب سطحی را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زهکشی رواناب شهری منطقهٔ مورد مطالعه استفاده نمود. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار این امکان برای پژوهشگران و مدیران اجرایی به وجود می‌آید تا سناریوهای مختلف مدیریتی را (که امکان اجرای آن‌ها در زمان کوتاه و بدون صرف هزینهٔ سنگین وجود ندارد) مورد ارزیابی قرار داده و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمود. این پژوهش، کارایی مدل SWMM را برای شبیه سازی بارش رواناب در مناطق شهری تأیید می‌کند که با نتایج سایر مطالعات [۲۰،۵،۳،۱۸] مطابقت دارد. بنابراین، استفاده از مدل SWMM یا مدل‌های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینهٔ عملیات میدانی و به ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راهکارهای ممکن به منظور ارتقاء سطح مدیریت منابع آب قلمداد گردد.

References

[1] Ahmadi, M. (2012). A MULTI CRITERIA DECISION SUPPORT SYSTEM FOR WATERSHED MANAGEMENT UNDER UNCERTAIN CONDITIONS, Ph.D. thesis, Colorado State University, 184 P.

[2] Ahmadisharaf, E. and Tajrishy, M. (2014). Siting Detention Basins Using SWMM and Spatial Multi-Criteria Decision Making, Journal of Water and Wastewater, 6, 57-66.

[3] Alamdari, N. (2018). Modeling Climate Change Impacts on the Effectiveness of Stormwater Control Measures in Urban Watersheds, Ph.D. thesis, University of Virginia, 165 P.

[4] Balascio, C.C. and Gao., H. (1998). Use of a genetic algorithm and multi-objective programming for calibration of a hydrologic model, Transactions of ASABE, 41(3), 615-619.

[5] Badieizade, S., Bahrehmand, A. and Dehghani, A. A. (2016). Calibration and Evaluation of the Hydrologic- Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan), Journal of Watershed Management Research, 7(14), 1-10.

[6] Chen, J., Hill, A.A. and Urbano, L. D. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. Journal of Hydrol., 373 (1-2), 184-192.

[7] Heydarzadeh, M., Nohegar, A., Malekian, A. and Khurani, A. (2017). Assessment and Sensivity analysis quantity of runoff and drainage system in coastal urban area (Case study: Bandar Abbas coastal city), Journal of Water and soil conservation, 24(3), 203-218.

[8] Huber, W.C. and Dickinson, R.E. (1998). Stormwater Management Model User's Manual, Version 4.EPA/600/3/-88/011a. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.

[9] Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. and Aksoy, H. (2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment, Desalination 212, 344–356.

[10] Khalighi, Sh., RostamiKhalaj, M., Mahdavi, M. and Salajegheh, A. (2015). Evaluation and Calibration of SWMM to simulate urban runoff. Iranian Journal of Natural Resources, 68(2), 487-498.

[11] Kourtis, I.M., Kopsiaftis, G., Bellos, V. and Tsihrintzis, V.A. (2017). 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.

[12] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900.

[13] Rezaei, A., Ismail, Z., Niksokhan, M., Dayarian, M.A., Ramli, A. and Shirazi, Sh. (2019). A Quantity–Quality Model to Assess the Effects of Source Control Stormwater Management on Hydrology and Water Quality at the Catchment Scale, Water, 11, 1415, 23.

[14] RostamiKhalaj. M. (2011). Urban flood risk zoning using hydrological and hydraulic models integration. (Case study: Zone 2, City of Mashhad). MSc thesis. University of Tehran, 127 P.

[15] Seo, M., Jaber, F., Srinivasan, R. and Jeong, J. (2017). Evaluating the Impact of Low Impact Development (LID) Practices on Water Quantity and Quality under Different Development Designs Using SWAT, Water, 9, 193, 17.

[16] Shahbazi, A., Khalighi, Sh., Malekian, A. and Salajegheh, A. (2017). Sensitivity analysis of input parameters of SWMM model to urban runoff management (A Case study: Mahdasht town), Journal of Watershed Management Research, 114, 67-75.

[17] Szollosi-Nagy, A. and Zevenbergen, C. (2004). Urban Flood Management, Taylor & Francis Publisher, London (UK).

[18] Taatpour, F., Khorsandi Kouhanestani, Z. and Armin, M. (2019). Evaluating the Performance of Collection and Disposal of Surface Runoff Network Using SWMM Model (Case Study: the City of Likak, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province), Irrigation Sciences and Engineering, 42(2), 33-48.

[19] Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J. and Tejero, I. (2006). Storm Water quality calibration by SWMM: acase study in Northern Spain, Water SA, 32(1), 55-63.

[20] Tingsanchali, T. (2012). “Urban flood disaster management.” Proc. Eng., 32, 25-37.

[21] Wu, J., Yang, R. and Song, J. (2018). Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: a case study in Shenzhen, China, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2525–2536.

[22] Yu, H., Huang, G. and Wu, C. (2014). Application of the storm water management model to a piedmont city: a case study of Jinan City, China. Water Science & Technology, 70(5), 858–864.