نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هفدهم- شماره ٦٢- پاییز ١٤٠٢

Vol. 17, No. 62, Full 2023

تجزیه و تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی مدلSWMM در برآورد سیلاب‌های شهری منطقه عظیمیه کرج

مینا پوراسمعیل[1]، علی سلاجقه[2*]، آرش ملکیان[3]، امیررضا کشتکار[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

DOI: 10.22034/17.62.33

چکیده

مدل‌های مدیریت رواناب شهری به‌عنوان ابزاری مفید در برنامه‌ریزی، طراحی و توسعه به شمار می‌روند، از مدل‌های پرکاربرد در این زمینه می‌توان به مدل SWMM اشاره نمود. یکی از مشکلات اساسی در مطالعه شبکه زهکشی شهری به کمک این مدل‌ها انتخاب صحیح پارامترها است. برای رفع این مشکل می‌توان از روش آنالیز حساسیت استفاده نمود، که روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و اولویت تأثیر آن‌ها بر خروجی مدل را نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق تعیین حساسیت متغیرهای مؤثر بر دبی اوج سیلاب با به‌کارگیری مدل SWMM در منطقه عظیمیه کرج است. برای این منظور مقدار اولیه برآورد شده درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، شماره منحنی، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی در دامنه تغییرات قابل‌قبول به مقدار ثابت کاهش و افزایش یافت و تأثیر آن‌ها بر دبی اوج سیلاب بررسی شد. نتایج نشان داد درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر دبی اوج داشتند. به‌طوری‌که با افزایش ۳۰ درصد در مقدار درصد مناطق نفوذناپذیر به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل، مقدار دبی اوج ۵/۰۹ درصد افزایش یافت.

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- نویسنده مسئول و استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران salajegh@ut.ac.ir
۳- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
٤- دانشیار مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران، کرج، ایران

کلیدواژه‌ها: *آنالیز حساسیت، سیلاب شهری،مدل SWMM، شبکه زهکشی، کرج*

مقدمه

توسعه شهری و افزایش ساخت‌وسازها موجب تغییر پوشش سطحی شهرها شده، سطوح غیرقابل نفوذ، پشت‌بام ساختمان‌ها، سطوح خیابان‌ها و امثال آن‌ها در شهرها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک عمل می‌کنند و سبب می‌شوند که بخش بیشتری از بارندگی به رواناب سطحی تبدیل شوند. این امر باعث افزایش رواناب در شهرها شده که خود عاملی بر تشدید سیلاب و آب‌گرفتگی در شهرها است. این مسئله در هنگام وقوع بارندگی‌های شدید، باعث سیلاب‌های شهری شده که در نوع خود در بسیاری از موارد می‌تواند مخرب و ویران‌کننده باشند. سیلاب‌های شهری هر ساله به خاطر افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و ساخت‌وسازها، خسارات فراوان جانی و مالی برای ساکنان شهرها به ارمغان آورده است[١٤]. در یک چشم‌انداز جهانی افزایش تعداد سیلاب‌های شهری بسیار مشهود است و انتظار می‌رود مشکل جاری شدن سیل شهری در آینده نیز افزایش یابد. یکی از دلایل آشکار این پدیده در بسیاری از بخش‌های جهان، کافی نبودن ظرفیت سیستم‌های فاضلاب و زهکش‌ها با توجه به افزایش نرخ شهرنشینی است [٢٨]. حوزه‌های آبخیز شهری شامل شبکه پیچیده‌ای از سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، لوله‌های زهکشی، ناودان‌ها و مخازن ذخیره هستند که از زهکش‌های روباز تا شبکه‌های زهکشی پیچیده را شامل می‌گردد و بدیهی است که هرگونه اقدامی در این زمینه نیازمند برآورد دقیق مقدار رواناب است. بیشتر حوزه‌های آبخیز شهری فاقد ایستگاه هیدرومتری و آمار رواناب هستند، ازاین‌رو تعیین پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شهری با توجه به پیچیدگی سیستم زهکشی امری ضروری است. در این راستا مدل‌های مدیریت رواناب شهری مورداستفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های مدیریت رواناب شهری به‌عنوان ابزاری مفید در برنامه‌ریزی، طراحی و توسعه شهری به شمار می‌روند[١٧].

یکی از مدل‌های مطرح در زمینه مدیریت رواناب‌های شهری مدل SWMM است. این مدل توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا به‌منظور شبیه‌سازی پدیده‌های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب در مسیرهای مختلط و پیچیده طی سال‌های ١٩٦٩ تا ١٩٧١ تهیه شده و تاکنون چندین بار بازنویسی و به هنگام شده است [٩]. مدل SWMM یک مدل شبیه‌ساز بارش- رواناب پویا با مبنای فیزیکی

است که برای شبیه‌سازی‌های تک واقعه‌ای یا طولانی‌مدت (پیوسته) کمیت و کیفیت رواناب حوزه‌های شهری مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۵]. ازآنجایی‌که در بسیاری از شهرهای کشورمان مشکل سیلاب شهری و آب‌گرفتگی معابر از مشکلات اساسی است، می‌توان از مدل SWMM با سطح اطمینان بالایی برای مشخص کردن نقاط حساس به آب‌گرفتگی، طراحی زهکش‌ها و مدیریت رواناب به‌منظور کاهش خطرات استفاده نمود[۲۲].

یک مشکل در مطالعه شبکه زهکشی شهری، انتخاب صحیح پارامترها در مدل‌های مورداستفاده بارش رواناب است. این انتخاب ممکن است اثر قابل‌توجهی روی هیدروگراف سیلاب و پیک جریان داشته باشد. به علت تغییرپذیری بالای این پارامترها و محدودیت زمانی و اقتصادی، مقادیر دقیق بسیاری از این پارامترها به درستی شناخته‌شده نیست. علاوه بر این اندازه‌گیری دقیق بسیاری از این پارامترها به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نیست یا نیازمند هزینه‌های گزافی است. بنابراین فرآیند واسنجی به‌منظور برآورد مقادیر دقیق هر یک از این پارامترها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است [۵]، زیرا خواستگاه تولید این مدل‌ها دارای شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و ... منحصربه‌فردی است که ممکن است با سایر نواحی مطابقت نداشته باشد و روابطی که در ساخت مدل به‌کاررفته، ممکن است تجربی محور باشد، بنابراین بایستی ابتدا مدل را برای منطقه موردمطالعه واسنجی نمود. در طی فرایند واسنجی مدل پارامترهای ورودی مدل با تغییر در محدوده مجاز خود تعدیل و اصلاح می‌گردند تا این‌که بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای داشته باشند. بااین‌حال زمانی که تعداد پارامترها زیاد باشد فرایند واسنجی بسیار پیچیده شده و محاسبات گسترده و زمان بری را می‌طلبد [۲۳ و ۱۸]. در این حالت آنالیز حساسیت به‌عنوان روشی اساسی در نظر گرفته می‌شود که به‌وسیله آن تأثیر پارامترهای ورودی به‌عنوان متغیر مستقل بر روی خروجی‌های مدل (متغیر وابسته) بررسی می‌گردد [۲۰و۵]. آنالیز حساسیت یک دید کلی برای مطالعه‌ی نتایج مدل ایجاد می‌کند که این دید برای پیش‌بینی پتانسیل خطر یا کاهش خطر مهم خواهد بود [۱۲] و نقش کلیدی در تحلیل‌های مربوط به سیلاب دارد و استفاده از آن برای تحلیل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت توصیه شده است [۱۳]. در این روش پارامترها حساس شناخته‌شده و تمرکز بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد و با کاهش عدم قطعیت، دقت نتایج افزایش یافته و باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌گردد [۲].

باوجود پیشرفت در زمینه توسعه تکنیک‌ها و مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب، عدم قطعیت در پیش‌بینی سیلاب اجتناب‌ناپذیر است این در حالی است که نتایج مدل‌های بارش–رواناب به شکل قابل‌توجهی به این موضوع بستگی دارد. بنابراین لازم است عدم قطعیت‌های موجود به‌طور مناسب ارزیابی و در مدل‌ها لحاظ شوند. اکثر مدل‌های بارش– رواناب توسعه داده‌شده برای شبیه‌سازی روناب‌ها پیچیده بوده، پارامترهای مختلفی را شامل می‌شوند و به دلیل تغییرات مکانی و زمانی قابل‌توجه و عدم قطعیت زیاد این پارامترها، برآورد دقیق آن‌ها امری دشوار است. بنابراین لازم است طی فرآیند تحلیل حساسیت، پارامترهای مهم و مؤثر مدل به‌طور صحیح انتخاب شوند. مزیت اصلی این کار این است که می‌توان پارامترهای تأثیرگذار بر خروجی مدل شبیه‌سازی و منابع عدم قطعیت را با تحلیل حساسیت تشخیص داد [۸].

گونزالس و همکاران [۳] در تحقیقی به تجزیه‌وتحلیل حساسیت پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در حوزه شهری توکستا ترز، در مکزیک پرداختند و برای این منظور از مدل SWMM استفاده نمودند. نتایج نشان داد ضریب مانینگ در سطوح غیرقابل نفوذ و حداقل سرعت نفوذ حساس‌ترین پارامترها بودند. ریورو و همکاران [۱۶] در پژوهشی تحلیل حساسیت پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مدل SWMM در ایالت لارا، ونزوئلا پرداختند. نتایج نشان داد حساس‌ترین پارامترها درصد مساحت نفوذناپذیر، شیب حوضه و ضریب مانینگ منطقه نفوذناپذیر بودند. یو و همکاران [۲۹] تجزیه‌وتحلیل حساسیت را برای ارزیابی تأثیر پارامترهای مدل SWMM در شهر جینان، چین انجام دادند. نتایج نشان داد که خروجی‌های مدل نسبت به نفوذناپذیری و زبری مجرا حساس‌تر بودند و پارامترهای نفوذ و ذخیره چالابی نقش مهمی در رواناب کل و اوج جریان داشتند. زکی زاده و همکاران[۳۰] در تحلیل حساسیت مدل SWMM در منطقه ۲۲ تهران ۸ پارامتر را موردبررسی قرار دادند و به ترتیب پارامترها را از بیشترین تا کمترین میزان حساسیت شامل؛ درصد مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، در صد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی، شیب، ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذپذیر و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر می‌باشند. هاشمی و مهجوری مجد[۸] به تحلیل حساسیت پارامترهای شبیه‌سازی رواناب سطحی در منطقه ولنجک تهران پرداختند. به این منظور، ۱۵ پارامتر مدل SWMM در نظر گرفته شدند و تحلیل حساسیت به سه روش وارس، سوبول و موریس انجام شد. نتایج حاصل از سه روش با یکدیگر مقایسه شده در نهایت، شش پارامتر به‌عنوان پارامترهای مؤثر شناسایی شدند. شهبازی و همکاران[۲۲] در مطالعه‌ای به تجزیه‌وتحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWMM در شهر ماهدشت پرداختند. در این مطالعه ۱۰ پارامتر ورودی مدل ۱۵ و ۳۰ درصد افزایش و کاهش داده شد و آبدهی اوج حاصل از این تغییرات موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد حساس‌ترین پارامتر مربوط به درصد اراضی نفوذناپذیر و کم‌ترین حساسیت مربوط به ارتفاع ذخیره‌ی مناطق نفوذپذیر است. حیدرزاده و همکاران [۹] به ارزیابی و آنالیز حساسیت کمیت رواناب و سیستم زهکشی در شهر بندرعباس پرداختند. به این منظور نه پارامتر مؤثر در مدل با استفاده از ضریب ناش– ساتکلیف مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ترتیب پارامترها از حساس‌ترین تا کم‌ترین حساسیت شامل درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق

نفوذناپذیر، مساحت زیرحوضه، شیب زیرحوضه، درصد مناطق بدون ذخیره سطحی، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر است. رستمی خلج و همکاران [۱۹] به تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM در حوزه شهری شهرک امام علی(ع) شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد با ۳۰ درصد افزایش در پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر مقدار دبی اوج ۳/۳۸ درصد افزایش می‌یابد که بیشترین تأثیر را بر دبی اوج داشته و به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل شناخته شد و از طرف دیگر درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تأثیر را بر دبی اوج حوزه موردمطالعه دارد.

با توجه به موارد ذکرشده هدف از این مطالعه بررسی حساسیت متغیرهای ورودی به مدل SWMM برای برآورد دبی اوج سیلاب شهری و مشخص کردن پارامتر مؤثر بر دبی اوج سیلاب در منطقه عظیمیه شهر کرج است.

مواد و روش‌ها

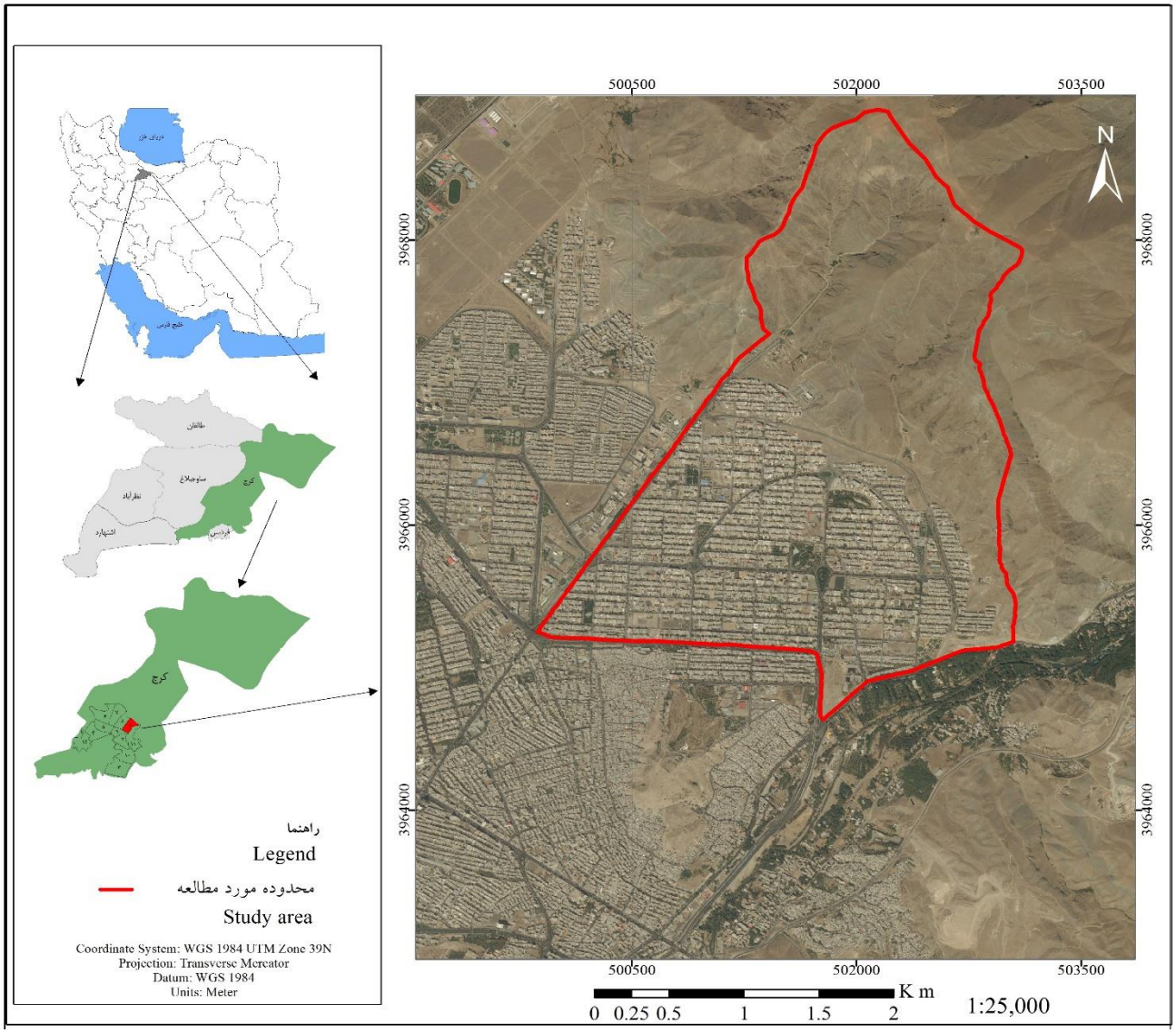
منطقه موردمطالعه

شهر کرج در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی قرارگرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد ۱۹۰۷ متر است[۲۵]. منطقه موردمطالعه در این پژوهش بخشی از منطقه ۱ شهرداری کرج (منطقه عظیمیه) است که در شکل ۱ نمایش داده شده است. طبق بررسی‌های انجام‌شده بر روی آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرج، بارندگی سالانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر است. مورفولوژی این منطقه، تپه‌ماهوری است که برجستگی‌ها، رسوبات آبرفتی درشت پادگانه‌های بلند آبرفتی و برون‌زدگی سنگ کف و فرورفتگی‌ها توسط رسوبات آبرفتی دشت پوشیده شده‌اند. این حالت می‌تواند مؤید شدت سیلاب‌های جاری‌شده از ارتفاعات و میزان سیلاب‌گیر بودن این محدوده باشد[۶]. این منطقه با مساحتی در حدود ۱۲۰۰ هکتار دارای جمعیت ۱۹۵۰۰۰ نفر بر اساس آمار شهرداری در سال ۱۳۹۷ هست.

روش کار

در این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب از مدل SWMM نسخه ۵/۱ استفاده شد. این مدل، مدل شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب (تک واقعه و پیوسته) با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیرسطحی است. در این مدل برآورد سیلاب با روش موج سینماتیک و ترکیب المان‌های جریان‌های روزمینی و کانالیزه شده صورت می‌پذیرد. بنابراین دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و همچنین قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوزه به بارندگی اضافی است. خروجی‌های مدل نیز به‌صورت جدولی و گرافیکی بوده و اهم آن‌ها عبارت‌اند از هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل گرفتگی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت اشغال‌شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان‌های مختلف در مجاری، نقاط و بازه‌های بحرانی بر اساس شاخص کاربر و همچنین هیدروگراف سیلاب خروجی از زیر حوزه‌ها را شامل هست[۱۷]. تعیین مرز حوضه و زیر حوضه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ ،نقشه‌های شهری (شامل خیابان‌ها، بلوارها، فضای سبز و...)، بازدیدهای میدانی و نیز با توجه به شیب و نحوه حرکت آب و خروجی مربوط به هر زیرحوزه انجام شد. برای محاسبه عرض معادل از روش عرض مستطیل معادل و برای تعیین ضریب زبری جریان روی سطوح نفوذپذیر، نفوذناپذیر و آبگذرها و همچنین تعیین ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر از راهنمای مدل و جداول کمکی استفاده گردید. همچنین به‌منظور تعیین میزان نفوذ روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) به کار برده شد. اطلاعات مربوط به آبگذرها (شکل، حداکثر عمق و طول آبگذر)، اطلاعات اتصالات (رقوم کف آبگذر در محل اتصال، حداکثر عمق اتصال) و در نهایت اطلاعات مربوط به خروجی‌ها که شامل رقوم کف گره خروجی است از طریق بازدیدهای میدانی تعیین شد. همچنین اطلاعات مربوط به مساحت، محیط، شیب و طبقات ارتفاعی منطقه موردمطالعه که در بخش‌های مختلفی از مدل استفاده شده به‌وسیله نرم‌افزار GIS استخراج گردید. برای مشخص کردن بارندگی طرح در ابتدا زمان تمرکز از روابط تجربی مختلفی همچون کرپیچ، کالیفرنیا، چاو، برانسلی ویلیامز، ونتورا و تأخیر SCS محاسبه و در نهایت زمان تمرکز حاصل از روش تأخیر SCS با توجه به نزدیکی به مشاهدات میدانی انتخاب گردید. پس از محاسبه زمان تمرکز با استفاده از منحنی‌های شدت- مدت - فراوانی مقدار بارش تجمعی محاسبه گردید در نهایت با استفاده از روش بلوک متناوب نمودار هم‌باران‌های رگبار در دوره بازگشت ۲۰ ساله در زمان تمرکز به‌عنوان ورودی به مدل تهیه شد.

در این مطالعه برای انجام تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی مدل SWMM از روش تحلیل حساسیت جزئی(مطلق) استفاده شد. در این روش در هر مرتبه اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه پارامترها ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر خروجی مدل حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند [۱۹]. برای انجام تحلیل حساسیت از بین پارامترهای موجود هشت پارامتر شامل، درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، شماره منحنی (NC) ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM دبی اوج سیلاب که مؤثرترین پارامتر برآورد سیلاب است، به‌عنوان متغیر وابسته برای بررسی انتخاب شد. با توجه به دامنه تغییرات قابل‌قبول (جدول ۱) و همچنین با توجه به این‌که پارامترهای موردبررسی به تغییرات کم به میزان بسیار ناچیز عکس‌العمل نشان می‌دهند، به همین دلیل افزایش و کاهش۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی پارامترهای منتخب و



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig1. Location of the study area

تأثیر آن‌ها بر آبدهی اوج سیلاب خروجی حوزه موردبررسی قرار گرفت. بعد از مشخص شدن پارامترهای حساس و تأثیرگذار از آن‌ها برای واسنجی مدل استفاده گردید. در این مطالعه تنها از سه واقعه نمونه‌برداری صورت گرفت که دو مورد برای واسنجی و یک مورد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. از رایج‌ترین روابط ریاضی که در اکثر مطالعات مربوط به آب‌شناسی شهری از آن‌ها استفاده می‌شود عوامل ضریب ناش- ساتکیف (NS) و مجذور میانگین مربعات خطا RMSE است [۷]. در این مطالعه نیز از این دو معیار برای بررسی صحت واسنجی و اعتبار سنجی مدل استفاده گردید.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} \quad (۲)$$

در اینجا، P_i = مقدار برآورد شده، O_i = مقدار مشاهده‌شده، $\bar{O}$ = میانگین مقادیر مشاهده‌ای، N = تعداد داده است. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد و بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. درصورتی‌که مقدار NS مثبت باشد نشان‌دهنده این است که داده‌های شبیه‌سازی‌شده بهتر از میانگین داده‌های مشاهداتی است و درصورتی‌که منفی باشد نشان می‌دهد که خروجی مدل با ماهیت سامانه متناظر نیست [۲٤ و ۱]. پایین‌ترین مقدار قابل‌قبول NS، ۰/۵ است و هرچه که مقدار NS نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت شبیه‌سازی است [۲۱] و همچنین هر چه مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر بوده و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود.

جدول ۱- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات قابل‌قبول متغیرهای مدل SWMM

Table1. Initial values and amplitude of acceptable changes of SWMM model variables

عوامل Factors	مقادیر اولیه Initial values	درصد و محدوده تغییرات Percentage and range of changes	مقادیر بهینه Optimal values	منبع Reference
درصد مناطق نفوذناپذیر impervious area (%)	-	±30	-	تمپرانو و همکاران [۲۵] Temprano et al.[25]
شیب (٪) Slope (%)	-	±30	-	تمپرانو و همکاران [۲۵] Temprano et al.[25]
عرض معادل (متر) width (m)	-	±30	-	تمپرانو و همکاران [۲۵] Temprano et al.[25]
ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر Impervious manning's roughness coefficient	0.013	0.011-0.033	0.018	هوبر و دکینسون [۹] Huber and Dickinson[9]
ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر pervious manning's roughness coefficient	0.05	0.02-0.8	0.2	هوبر و دکینسون[۹] تمپرانو و همکاران [۲۵] Huber and Dickinson[9] Temprano et al. [25]
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر (mm) Depression storage in impervious surfaces	1.778	0.3-2.5	2	هوبر و دکینسون [۹] Huber and Dickinson[9]
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm) Depression storage in pervious surfaces	3.81	2.5-5.1	4.1	سرینسیز و حمید [۲۶] Tsihrintzis and Hamid[26]
درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی Percent of impervious area with no depression storage	16	5-20	18	هوبر و دکینسون [۹] Huber and Dickinson[9]

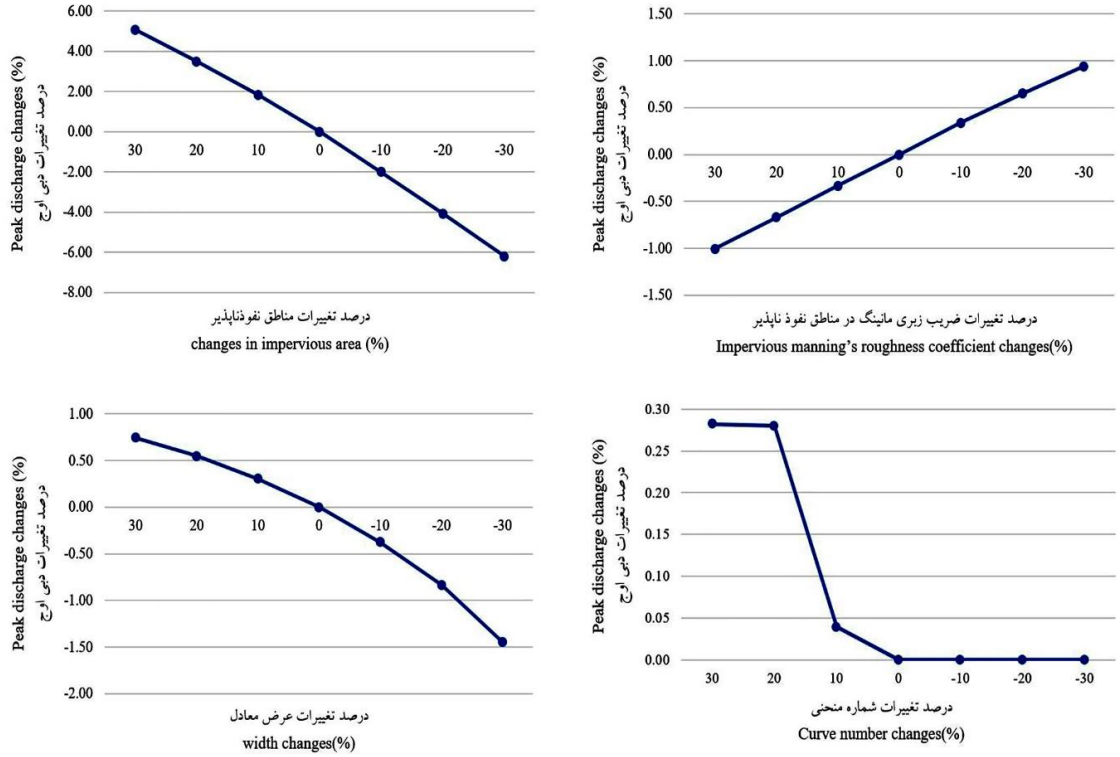
جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی مدل SWMM

Table2. validation results of SWMM model

واقعه event	فاکتور Factors	ضریب ناش- ساتکیف NS	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE
واقعه event ۹۶/۱۰/٤ 2017/12/25	عمق Depth	0.76	0.006
	سرعت Velocity	0.85	0.014
	دبی Discharge	0.80	0.006

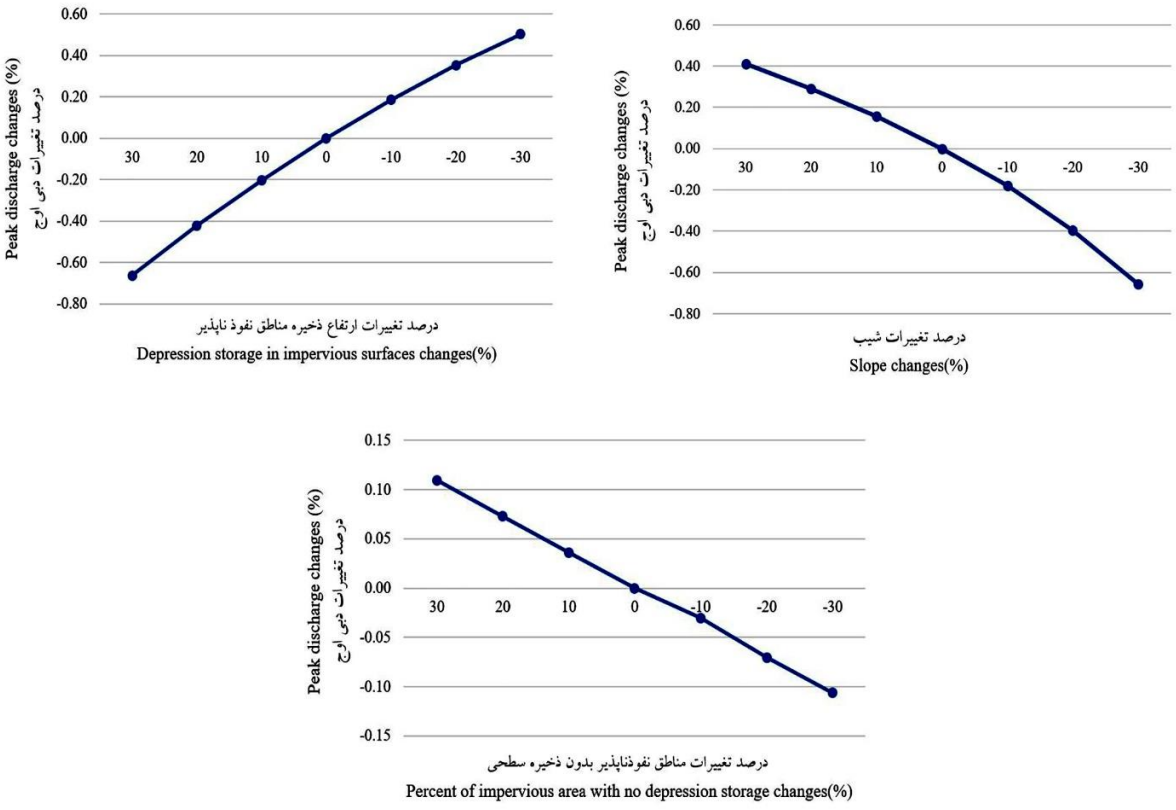
نتایج

برای انجام آنالیز حساسیت بارش طراحی ۵۰ دقیقه‌ای (با توجه به زمان تمرکز حوضه) در دوره بازگشت ۲۰ سال برای حوضه استفاده گردید. با توجه به دامنه تغییرات قابل‌قبول به ترتیب در تمام زیر حوضه‌ها تغییر مقادیر پارامترها انجام و با تغییر مقدار هر پارامتر مدل اجرا و تأثیر آن‌ها بر دبی اوج سیلاب خروجی حوضه اندازه‌گیری شد نتایج حاصل از انجام تحلیل حساسیت در شکل‌های (۲و۳) نشان داده‌شده است. همان‌طور که از روی شکل‌ها مشخص است ترتیب پارامترها از بیشترین تا کمترین میزان حساسیت شامل درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، شماره منحنی، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، شیب زیرحوضه، درصد مناطق بدون ذخیره سطحی است. با افزایش میزان پارامترهای، درصد اراضی نفوذناپذیر، عرض معادل، شماره منحنی، شیب زیرحوضه، درصد مناطق بدون ذخیره سطحی میزان دبی اوج افزایش می‌یابد یعنی این پارامترها با دبی اوج رابطه مستقیم دارند. درصورتی‌که پارامترهای ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر با دبی اوج رابطه معکوس دارند یعنی با کاهش آن‌ها، دبی اوج افزایش می‌یابد. به‌عنوان‌مثال با افزایش و کاهش ۳۰ درصدی مناطق نفوذناپذیر دبی اوج ۵/۰۹ درصد افزایش و ٦/۲۰درصد کاهش می‌یابد. درصورتی‌که با افزایش و کاهش ۳۰ درصدی ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر دبی اوج ۱/۰۱ درصد کاهش و ۰/۹٤ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج مربوط



شکل ۲- درصد تغییرات پارامترهای مهم استفاده‌شده در مدل SWMM

Fig 2. Percentage of changes in important parameters used in SWMM model



شکل ۲- درصد تغییرات پارامترهای مهم استفاده‌شده در مدل SWMM

Fig 2. Percentage of changes in important parameters used in SWMM model

به اعتبارسنجی مدل در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که شبیه‌سازی دبی، عمق و سرعت جریان در یک واقعه بررسی‌شده انطباق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای دارد و این موضوع بیانگر این است که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به تجزیه‌وتحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل مدیریت رواناب شهری SWMM پرداخته شد. به‌منظور تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مدل آنالیز حساسیت استفاده می‌گردد. با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل بهتر می‌توان ارتباط آن‌ها را با یکدیگر درک نمود و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد و بدین ترتیب کاربرد مناسب‌تری از مدل به‌منظور کارایی هر چه بیشتر آن ارائه نمود[۱۱]. با توجه به مطالعات گذشته در زمینه مدل SWMM [۱۹، ۲۲ و ۹] هفت پارامتر مهم شناخته شد که در این مطالعه درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و عرض معادل به ترتیب بیشترین تأثیر را در تغییر دبی اوج داشتند دلیل آن را می‌توان به ماهیت فیزیکی حوزه نسبت داد که با نتایج [۲۲، ۹ و۳۰] مطابقت دارد. با توجه به اینکه حوزه‌های شهری بر اساس نیاز به دنبال تغییر در کاربری اراضی حوضه‌های طبیعی به وجود می‌آیند در نتیجه باعث افزایش درصد مناطق نفوذناپذیر و کاهش ضریب زبری می‌شوند، از طرفی با توجه به اینکه در مناطق شهری رواناب دو ردیف خانه‌ای که مشرف به کوچه هستند به آن وارد می‌شوند، در نتیجه کوچه و خانه‌های مشرف به آن به‌عنوان یک زیرحوضه در نظر گرفته می‌شوند و همان‌طور که مشخص است در اکثر مناطق طول کوچه‌ها به‌مراتب خیلی بیشتر از عرض آن‌ها است که سبب می‌گردد عرض معادل کاهش یابد که نتیجه‌اش افزایش رواناب و سیلاب خواهد بود [۲۲]. به‌عنوان‌مثال اگر به مقدار اولیه درصد مناطق نفوذناپذیر و عرض معادل در منطقه موردمطالعه ۳۰ درصد افزوده شود مقدار دبی اوج به ترتیب ۵/۰۹ و ۰/۷۵ افزوده می‌شود. اما اگر به مقدار اولیه ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر ۳۰ درصد افزوده شود مقدار دبی اوج ۱/۰۱ درصد کاهش می‌یابد.

ریورو و همکاران [۱۶] با استفاده از مدل SWMM در ایالت لارا، ونزوئلا از بین پارامترهای موردبررسی بیان داشتند که درصد مساحت نفوذناپذیر، شیب حوضه و ضریب مانینگ منطقه نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را در تغییر دبی اوج داشته‌اند. درصورتی‌که در مطالعه حاضر شیب جزء پارامترهای کم حساس محسوب می‌شود که این نتیجه را می‌توان به ویژگی‌های فیزیکی مناطق نسبت داد. به‌طورکلی می‌توان گفت با توجه به اینکه بخش قابل‌ملاحظه‌ای از منطقه موردمطالعه از سطوح نفوذناپذیر تشکیل شده است در نتیجه تأثیرگذاری مناطق نفوذپذیر و عامل‌های مربوط به آن از جمله ضریب زبری و ارتفاع ذخیره نیز کمتر خواهد بود. در مورد پارامتر شماره منحنی که در شکل شماره ۲ مشخص شده است با زیاد کردن شماره منحنی آبدهی اوج افزایش یافته ولی با کم کردن آن هیچ‌گونه تأثیری بر آبدهی اوج نداشته که علت آن به کم بودن مناطق نفوذپذیر مربوط است. به بیانی دیگر ازآنجایی‌که مقدار سطوح نفوذناپذیر کم است هرچقدر شماره منحنی کم گردد تأثیر چندانی بر آبدهی نخواهد داشت.

در پایان می‌توان گفت شهرسازی معمولاً با افزایش سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش رواناب سطحی و کاهش زمان تمرکز، همچنین تولید هیدروگراف‌هایی با پیک بالا و بحران‌هایی اقتصادی همراه است [٤]، شهر کرج هم از این قاعده مستثنا نبوده به‌طوری‌که امروزه با مشکلات توسعه‌ای متعددی نظیر تأمین آب، جمع‌آوری و مهار آب‌های سطحی، توسعه و حفظ فضاهای سبز، مسائل مربوط به‌مواجهه با بافت فرسوده‌ی شهری، توسعه زیرساخت‌ها، رعایت اصول کاربری صحیح و اصولی اراضی شهری و مخاطرات متعدد طبیعی که با فعالیت‌های انسانی نیز رو به افزایش هستند روبرو است. رفع مشکلات برشمرده شده، بی‌تردید در گرو توجه ویژه به شهر کرج و مدیریت و به کار گرفتن روش‌های مناسب و اصولی است.

منابع

1.Arabi, M. Govindaraju, R.S.and Hantush, M.M. 2007. A probabilistic approach for analysis of uncertainty in the evaluation of watershed management practice. Hydrology 333(2-4): 459–471.

2.Avarand, R. Torabi Poodeh, H. and Farzayi, A. 2006. HEC-1 model sensitivity analysis to input parameters. 7th International +-*۹ on River Engineering. Chamran University. (In Persian)

3.Ballinas-González, H.A. Alcocer-Yamanaka, V.H. Canto-Rios, J.J. and Simuta-Champo, R. 2020. Sensitivity Analysis of the Rainfall–Runo_ Modeling Parameters in Data-Scarce Urban Catchment .Hydrology. 7(4):73.

4.Braud, I. Fletcher, T.D. and Andrieu, H. 2013. Hydrology of Peri-Urban catchments: processes and modeling. Hydrology. 485: 1-4.

5.Cibin, R. Sudheer, K.P. and Chaubey , I, 2010, Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of SWAT model, Hydrological processes,24:1133-1148.

6.Comprehensive plan of green space of Karaj city.2012. Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality. (In Persian)

7.Dongquan, Z., C. Jining, W. Haozheng, T. Qingyuan, C. Shangbing and S Zheng. 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach, (case study in Macau). Environmental Earth Sciences, 59(2): 465–472.

8.Hashemi, M. and Mahjouri, N. 2019. Sensitivity Analysis of

Surface Runoff Simulation Parameters in Velenjak sub-basin of the Tehran city: Application of VARS, Sobol and Morris Methods. Iran-Water Resources Research 14(4): 73-85. (In Persion)

9.Heydarzadeh, M. Nohegar, A. Malekian, A. And Khurani, A. 2017. Assessment and Sensitivity analysis quantity of runoff and drainage system in coastal urban area (Case study: Bandar Abbas coastal city). Water and Soil Conservation 24(3): 203-218. (In Persion)

10.Huber, WC. and Dickinson, RE. 1992. Storm water management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia.

11.Kousari, M.R. Saremi Naeini, M.A. Tazeh, M. and Frozeh, M.R. 2010. Sensitivity analysis of some equation for estimation of time of concentration in watersheds. Arid Biom Scientific and Research 1(1): 11.

12.Pappenberger, F. Beven, K. Ratto, M.and Matgen, P.2008. Multi-Method global sensitivity analysis of flood inundation models. Advances in Water Resources, 31(1): 1-14.

13.Perrin, C. and Oudin, L. 2007. Impact of stream flow data on the efficiency and the parameters of rainfall-runoff models, Hydrological Sciences Journal, 52(1): 131-151.

14.Rashidi Mehrabadi, M.H. 2012. Rainwater harvesting in residential areas. Jahad University Press. (In Persian)

15.Rashidpour, M. Solaimani, K. Shahedi, K. and Karimi, V. 2017. Simulation of Flooding in Urban Drainage Systems (Case study: Shahzaderoodkhane Urban Watershed, Babolsar-Mazandran-Iran). Watershed Management Research 8(15): 213-224. (In Persion)

16.Rivero, K. Aguilar, A.and Ortiz, J. 2020.Sensitivity analysis of the hydrological and hydraulic parameters of the SWMM model and its application in urban drainage systems.Gaceta Técnica 21(1). 45-64.

17.Rossman, L.A. 2015. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

18.Rosso, R. 1994. An introduction to spatially distributed modelling of basin response. In Advances in Distributed Hydrology, Rosso R, Peano A, Becchi I, Bemporad GA (Eds), Water Resources Publications: Fort Collins:3-30.

19.Rostami Khalaj, M. Mahdavi, M. Khalighi Sigarodi, Sh. and Salajeghe, A. 2012. Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using SWMM Model. Watershed Management Research, 3(5): 81-91. (In Persion)

20.Saltelli, A. Scott, E.M. Chan, K. and Marian, S. 2000. Sensitivity Analysis. John Wiley and Sons: New York, USA.

21.Santhi, C. Arnold, J.G. Williams, J.R. Dugas, W.A. Srinivasan, R.and Hauck, L.M. 2001.Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. American Water Resources Association 37(5): 1169–1188.

22.Shahbazi, A. Khalighi Sigarodi, Sh. Malekian, A. and Salajegh, A. 2017. Sensitivity analysisof input parameters of SWMM model to urban runoff management (A Case study: Mahdasht town). Watershed Managment Research 30(1): 67-75. (In Persion)

23.Sorooshian, S. Singh, V.P. and Gupta, V.K. 1995. Model calibration In Computer Models of Watershed Hydrology, Highlands Ranch, Colorado, Water Resources Publications: USA, 23-63.

24.Sourisseau, S.A. Basser, S.F. and Perie, T.2007. Calibration, validation and sensitivity analysis of an ecosystem model applied to artificial stream.Water Research 42: 1167-1181.

25.Study and design of surface water collection and flood management system in Karaj. 2015. Karaj Municipality. (In Persion)

26.Temprano, J. Arango, O. Cagiao, J. Suarez, J.and Tejero, I. 2006. Storm water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. Water SA, 32(1): 55-63.

27.Tsihrintzis, V. and Hamid, R. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. Hydrological Processes 12(2): 311-329.

28.Wu, J.B. Guo, K.Z. Wang, M.X. and Xu, B. 2011. Research and extraction of the hydrological characteristics based on GIS and DEM. 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering. Wuhan: 371-374.

29.Yu, H. Huang, G. and Wu, Ch. 2014. Application of the stormwater management model to a piedmont city: a case study of Jinan City, China. Water Science and Technology 70(5): 858-864.

30.Zakizadeh, F. Moghaddam Nia, A. Salajegheh, A. and Ardeshir, A.2020. Evaluating The Performance of SWMM Model to Simulate Urban Runoff Hydrograph (Case Study: The Part of District 22 of Tehran). Range and Watershed Management73(2): 337-346.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 17, No. 62, Full 2023
سال هفدهم- شماره ٦٢- پاییز ١٤٠٢

Sensitivity Analysis of Input Variables of SWMM Model in Estimating Urban Floods in Azimieh Region of Karaj

M. Pouresmaeel[1], A. Salajegheh[2], A. Malekian[3] and A. Keshtkar[4]

Received: 25-05-2021 Accepted:31-10-2021

Abstract

Urban runoff management models are considered as a useful tool in planning, design and development. One of the most usable models in this field is the SWMM. One of the main problems in studying urban drainage network with these models is the correct choice of parameters. To overcome this problem, the sensitivity analysis method could be used, which shows the relationships between variables included in the model with each other and the priority of their impacts on the model output. The purpose of this study is to determine the sensitivity of affective variables that influence urban flood peak using the SWMM model in Azimiyeh region of Karaj. In order to that, the estimated initial value of the percentage of impervious area, slope, width, curve number, N-Manning for impervious area, depth of depression storage on impervious area, percent of impervious area with no depression storage reduction were decreased and increased to a constant value in the range of acceptable changes and their effect on peak discharge was investigated as a dependent variable. Based on the results, the amount of impervious areas and the percent of impervious area with no depression storage had highest and lowest effect on peak discharge, respectively. 30% increase in the amount of impervious areas, as the most effective parameter, caused peak discharge to be increase 5.09 percent.

Keywords: Sensitivity analysis, Urban flood, SWMM model, Drainage network, Karaj

1. Ph.D. Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Corresponding author and Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, salajegh@ut.ac.ir
3. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate Professor, International Desert Research Center, University of Tehran, Karaj, Iran