دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولیکی- هیدرولوژیکی SWMM به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی (مطالعه موردی: شهر گرگان)

سامان بدیعی‌زاده[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲] و امیر احمد دهقانی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: saman.badie84@gmail.com)
۲ و ۳- دانشیار و استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱

چکیده

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی شهر گرگان از مدل هیدرولوژی- هیدرولیکی SWMM استفاده شده است. به منظور واسنجی مدل از چهار واقعه بارندگی استفاده شد و سرعت رواناب حاصل از هر واقعه بارندگی در خروجی زیرحوزه‌های منتخب برداشت شد. شاخص‌های کارایی مدل شامل NS، RMSE و BIAS% مربوط به برآورد دبی اوج و حجم جریان می‌باشند، همچنین معنی‌داری و عدم معنی‌داری میزان اختلاف بین مقادیر دبی و حجم جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط آزمون t جفتی مورد بررسی قرارگرفت. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد (NS=۰/۷، RMSE=۰/۰۰٦ و BIAS=۱۱/٤٤%) و از نتایج به دست آمده در فرآیند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده شد. به‌منظور ارزیابی مدل، از دو واقعه بارندگی استفاده شد. در مورد هر دو واقعه مذکور شاخص‌های کارایی مدل، در حد قابل‌قبولی است (NS=۰/٦۹، RMSE=۰/۰۰۰٤۳ و BIAS=۸/۱%). همچنین بر اساس روش آزمون t جفتی میزان اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی و ارزیابی مدل در سطح خطای (۰/۰۱ یا ۰/۰۵) معنی‌دار نیز نمی‌باشند. این تحقیق نشان داد مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی، مدل هیدرولیکی- هیدرولوژیکی SWMM، شهر گرگان

مقدمه

تشدید سیر صعودی خسارات سیل طی دو دهه گذشته سبب شده است که آرزوهای دیرینه درباره حل قطعی مسئله طغیان‌ها جای خود را به این حقیقت بدهد که پدیده سیل علی‌رغم همه پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه بوده و می‌توان طی اقدامات مدیریتی مناسب خسارات حاصل از آن را کاهش داد. سالانه در نقاط مختلف جهان، جان و مال بسیاری از مردم در اثر وقوع سیل به مخاطره می‌افتد. تغییرات کاربری اراضی، شهرنشینی، ساخت و سازه‌های غیراصولی، سیستم فاضلاب قدیمی و توسعه اراضی غیرقابل نفوذ در مناطق شهری اثرات مهمی در وقوع سیلاب شهری دارند (۱۸). بیشتر سطح در مناطق شهری توسط اراضی غیرقابل نفوذ پوشیده شده که در اثر بارش باران با شدت بالا باعث تجمع رواناب و بروز سیل یا آب گرفتگی در این مناطق می شود (۶). مدل‌سازی بارش- رواناب یکی از روش‌های مهم در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست به شمار می‌رود (۹). به هر حال با توجه به روش‌های نوین در مدل‌سازی و نرم‌افزارهای موجود موجب افزایش سرعت و کاهش زمان اجرای محاسبات شده، پژوهش‌ها و مطالعات مرتبط با مسایل هیدرولوژی پس از دهه ۱۹۵۰ به گونه‌ی چشمگیری گسترش یافت (۳).

انتخاب مدل

برای انتخاب مدل لازم است تا با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق مدل های متناسب و قابل دسترس را مورد بررسی قرار داد. اولین موضوعی که در محاسبات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رواناب شهری بایستی در نظر داشت، نوع محاسبات، آمار وارقام مورد نیاز و شرایط منطقه می‌باشد. پس از مطالعه مدل‌های فوق در زمینه‌های آبخیزداری شهری و رواناب‌های شهری و با توجه به وجود پیچیدگی‌های مختلف در شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و قابلیت اختصاصی، مدل ریاضی SWMM[1]، مدل شبیه‌ساز رواناب سطحی شهر گرگان انتخاب شد. از دلایل ارجحیت این مدل بر مدل‌های دیگر قابلت ارزیابی وضعیت سیستم شبکه زهکشی منطبق با شرایط شهری و بنا به قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی و توانایی ارزیابی و ارائه بهترین کارهای مدیریتی می‌باشد. مدل‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی می‌باشند (۱۱).

SWMM مدل شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب تک واقعه و پیوسته با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیر سطحی است. در این مدل برآورد سیلاب با روش موج سیستماتیک 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 نیزبه صورت جدولی و گرافیکی بوده و اهم آنها عبارتند از هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل‌زدگی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت

1- Storm Water Management Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

اشغال شده، 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 می‌باشد.

از آنجایی که مدل، جریان رواناب را در قالب شبکه زهکشی زیرحوزه‌ها و کلیه مجاری عبور آب شبیه‌سازی کرده و در طول مجاری و در محل اتصال کانال‌ها پروفیل سطح آب را ارائه می‌دهد، می‌توان از این مدل در مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی استفاده کرد و به برنامه‌ریزان امکان بررسی گزینه‌های مختلف طراحی را می‌دهد (۱۷). مدل SWMM در موارد زیادی به کار برده شده که در این جا به برخی از آنها اشاره می‌شود. خالقی و همکاران (۹) عملکرد مدل SWMM را در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان رودخانه خشک شیراز مورد ارزیابی قرار داد، در این تحقیق ابتدا مدل مذکور با استفاده از ۱۲ واقعه بارش همراه با دبی متناظر آنها در مرحله واسنجی استفاده شد. آنگاه با توجه به پارامترهای واسنجی شده، در مرحله اعتبارسنجی از ۱۴ واقعه بارش همراه با دبی متناظر استفاده شد. در نهایت نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM نشان داد، همبستگی مناسبی بین دبی و حجم جریان شبیه‌سازی با مشاهداتی وجود دارد و مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در حد قابل قبولی است. رستمی خلج و همکاران (۱۸)، به منظور پهنه‌بندی خطر سیل آب گرفتگی شهری بخشی از شهرک امام علی (ع) شهر مشهد از مدل‌های SWMM و HEC-RAS استفاده نمود.

رواناب شبیه‌سازی شده در مدل SWMM وارد مدل HEC-RAS شد و با به‌کارگیری GIS[1] و برنامه جانبی HEC-GeoRAS نقشه پهنه‌بندی آب گرفتگی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله تهیه شد. نتایج ارزیابی مدل SWMM نشان داد انطباق خوبی بین دبی و عمق رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. سلوالینگام و همکاران (۱۹)، با هدف ارزیابی و طراحی سیستم زهکشی جریان سیلابی در آبخیز سنگاپور از مدل‌های روندیابی RORB[2] و SWMM برای شبیه‌سازی سیلاب استفاده نمودند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هر دو مدل کارایی خوبی در شبیه‌سازی سیستم شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه دارند و مدل SWMM شبیه‌سازی رواناب را با خطای قابل قبولی محاسبه نمود. اسکاتا (۲۰)، مدل SWMM را برای طراحی سیستم فاضلاب شهری استفاده نمود. وی اظهار می‌دارد با این که گمان می‌رود SWMM تنها ابزار برای تحلیل سستم فاضلاب سطحی باشد اما در کار خود نشان داد که می‌توان از آن برای تحلیل و طراحی فاضلاب زیرزمینی نیز استفاده کرد. جانگ و همکاران (۱۰)، در تحقیقی ابتدا اقدام به بررسی کاربردی بودن مدل SWMM در سه حوزه آبخیز طبیعی در کشور کره جنوبی نمودند، که نتایج حکایت از آن داشت، که مدل SWMM به همان میزان که در حوزه‌های شهری کاربرد دارد در حوزه‌های آبخیز طبیعی، نیز قابل استفاده می‌باشد. سپس ضمن مقایسه روش‌های مرسوم هیدروگراف مصنوعی (SCS و Clark) و مدل هیدرولوژیکی SWMM در ارزیابی سیلاب برای شرایط قبل و بعد از توسعه شهری، به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل SWMM برای بررسی شرایط قبل و بعد از توسعه بهترین نتیجه را ارائه می‌نماید و اثرات شهرسازی بر روی رواناب تولیدی را به خوبی نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

شهر گرگان از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه و۸۴ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۲۹ دقیقه و ۷۶ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۹۵ ثانیه عرض شمالی با ارتفاع ۱۵۵ متر از سطح آب‌های آزاد و مساحت ۳۶۵۲/۸۵ هکتار با جمعیت قریب به ۲۷۰ هزار نفر در بخش جنوبی استان گلستان واقع شده است (شکل ۱). ریزش باران در ناحیه گرگان بیش‌تر در فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد بنا به نمودارهای ایستگاه‌های هواشناسی حداکثر میزان بارندگی ماهانه مربوط به اسفند ماه به میزان ۱۰۵ میلی‌متر و مینیمم بارندگی در مرداد ماه به میزان ۲۴/۷ میلی‌متر می‌باشد.

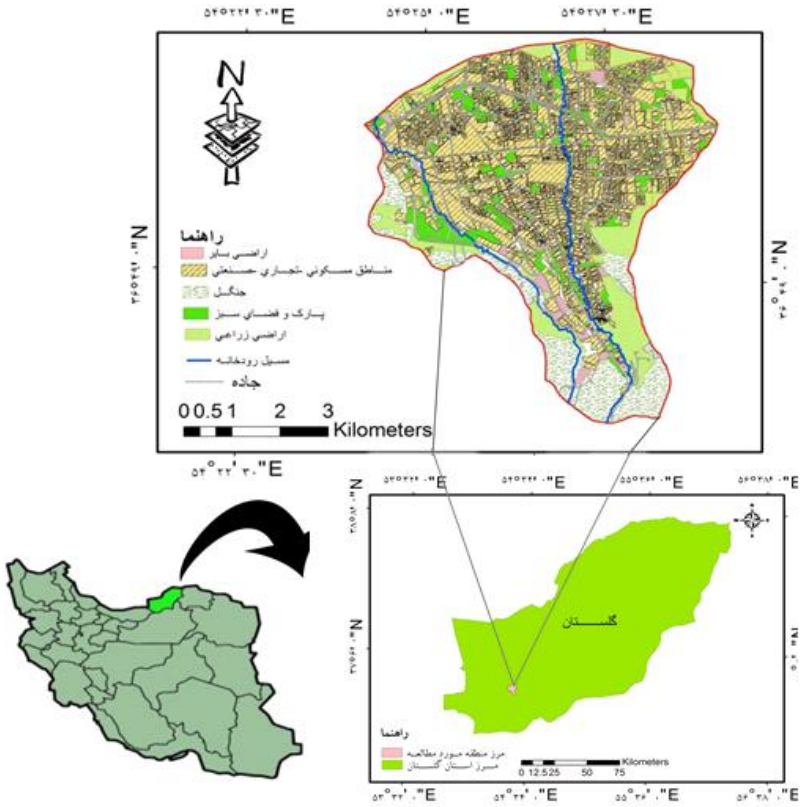
1- Geoghraphic Information System

2- Run off Ruting Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، محدوده شهری و مسکونی شهر گرگان
Figure 1. Geographical map of Gorgan city located at Golestan province, Iran

داده‌های مورد نیاز مدل

این داده‌ها شامل تبخیر ماهانه، سرعت باد و هم‌چنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد. با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعه رگباری (بارش-رواناب شبکه جمع‌آوری) اطلاعات فوق‌الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند (۱۷)، با این احوال این اطلاعات با فرض واقعه رگباری و به شکل زیر در مدل جایگزینی شده است. با توجه به فرضیات و امکانات مدل در خصوص دما از انتخاب عدم وجود اطلاعات استفاده شده است. در خصوص فرآیند تبخیر، با توجه به زمان اندازه‌گیری وقوع رگبارها، دمای هوا زیر صفر بوده و میزان تبخیر این ماه‌ها اندازه‌گیری نشده، بنابراین میزان تبخیر در مدل لحاظ نشد. از آنجا که برآورد رواناب در مدل SWMM و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری بر اساس مقادیر بارش می‌باشد. لذا این اطلاعات از مهم‌ترین و اساسی‌ترین اطلاعات مورد استفاده مدل هستند. در این مطالعه شش واقعه رگباری برای ارزیابی و واسنجی مدل استفاده شد، این شش واقعه به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۰/۱۱/۲۲، ۱۳۹۰/۱۱/۳۰، ۱۳۹۰/۱۲/۱، ۱۳۹۰/۱۲/۲، ۱۳۹۱/۲/۲و ۱۳۹۱/۲/۱۶ که در طی فصل زمستان و بهار اتفاق افتاده و رواناب متناظر با این رگبارها برای ارزیابی و واسنجی مدل در کانال‌های شماره ۳۷۶ و ۲۰۱ منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. در نهایت اطلاعات مربوط به بارش این رگبارها با مراجعه به سازمان آب منطقه‌ای شهر گرگان دریافت شد. رویدادهای بارش انتخابی و تداوم آنها در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱- رویدادهای بارش انتخابی و تداوم آنها در ایستگاه باران‌سنجی اداره آب منطقه‌ای شهر گرگان
Table 1. Selected events of precipitation and their continuity in rain-gauge were manually measured by the authors of Gorgan city

رویداد	۹۰/۱۱/۲۲	۹۰/۱۱/۳۰	۹۰/۱۲/۱	۹۰/۱۲/۲	۹۱/۲/۲	۹۱/۲/۱۶
مقدار بارش (میلی‌متر)	۱۶/۴	۱۲/۳۶	۱۰	۱۶	۱۱/۵۸	۹/۳۶
تداوم (ساعت)	۲/۵	۳/۲۵	۲/۷۵	۳/۱	۴/۱۵	۱

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

واسنجی مدل SWMM

پس از استخراج مولفه‌های مورد نیاز برای مدل اقدام به اجرای مدل برای چهار واقعه بارندگی در تاریخ‌های ۹۰/۱۱/۲۲، ۹۰/۱۱/۳۰، ۹۰/۱۲/۱ و ۹۰/۱۲/۲ شد. شایان ذکر است، از آنجایی که هیچ ایستگاه اندازه‌گیری هیدرومتری جهت اندازه گیری دبی در داخل شهر وجود نداشت، در این تحقیق سرعت رواناب حاصل از هر واقعه بارندگی در خروجی یکی از زیرحوزه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه برداشت شد. رواناب متناظر با این رگبارها جهت واسنجی مدل در کانال زهکشی مشرف به خروجی زیر حوز منتخب، با استفاده از خط کش Rod و میکرومولینه برداشت شد. طریقه نمونه‌برداری به این صورت بود که هر ۱۵ دقیقه یک بار عمق رواناب در کانال خروجی زیر حوزه منتخب با استفاده از خطکش Rod اندازه‌گیری شد و پس از آن سرعت رواناب به کمک معادله سرعت خطکش Rod محاسبه و به منظور اطمینان از صحت و درستی میزان سرعت به دست آمده توسط خطکش Rod با استفاده میکرو مولینه اقدام به اندازه‌گیری سرعت رواناب یکی از رخدادهای رگباری نموده آنگاه با توجه به رابطه رگرسیون خطی که بین معادله سرعت خط کش Rod و معادله سرعت میکرو مولینه وجود داشت، سرعت واقعی خطکش Rod به دست آمد. نمونه‌برداری از رواناب شهری به دلیل غیرقابل بیش‌بینی بودن رگبارها و هم چنین عدم استفاده از دستگاه‌های ثبات (به دلیل کم بودن امنیت) کاری سخت و پرهزینه است، به همین دلیل در این مطالعه فقط از شش واقعه رگباری نمونه‌برداری صورت گرفت که چهار مورد به منظور واسنجی و دو مورد هم برای ارزیابی مدل استفاده شد. برای واسنجی شش پارامتر مهم استفاده شد. پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذناپادیر و نفوذپذیر استفاده شد، که میانگین مقادیر پارامتر واسنجی شده بر اساس حجم جریان برای اجرای بعدی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد (۱). جدول ۲، پارامترهای اولیه و دامنه تغییرات آنها را جهت واسنجی و ارزیابی مدل را نیز نشان می‌دهد.

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM

Table 2. Variation range of primary parameters for implementing calibration of parameters of SWMM model

پارامترهای کالیبره شده	محدوده تغییرات	منابع
ضریب زبری مناطق نفوذپذیر	۰/۰۲-۰/۸	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)، (تمپرانو و همکاران، ۲۰۰۶)، (دانگوان و همکاران، ۲۰۰۹)
ضرب زبری مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱۱-۰/۰۳۳	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)
ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر	۲/۵-۷	(شرینتز و حمید، ۱۹۹۸)
ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر	۰/۳-۲/۵	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)
عرض معادل	±۳۰٪	(تمپرانو و همکاران، ۲۰۰۶)
درصد نفوذناپذیری	±۳۰٪	(تمپرانو و همکاران، ۲۰۰۶)

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژی

به منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های ناش- ساتکلیف، ریشه مربع خطا و بایاس که از رایج‌ترین توابع احتمال در اکثر مطالعات هیدرولوژی شهری می‌باشند، استفاده شد (۴).

رابطه (۱)
$$CNS = 1 - \sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2 / \sum_{i=1}^{n}(Q_{oi} - Q_{avo})^2$$

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

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

در روابط بالا Q_{oi}: داده‌های مشاهداتی، Q_{si}: داده‌های شبیه‌سازی شده، Q_{avo}: میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد داده‌هاست. اگر مقدار CNS برابر با یک باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. اگر CNS بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه سازی خوب توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر CNS بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد، نتایج مدل، رضایت‌بخش به شمار می‌رود.

BIAS%: خطای کل در حجم جریان (mm/yr) بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان دهنده بیش‌تر یا کم‌تر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (۳). هم‌چنین در این تحقیق وجود اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به عنوان فرض صفر در نظر گرفته شد. معنی‌داری یا عدم معنی‌داری اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به روش آزمون t جفتی با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه مدل با استفاده از پارامترهای اولیه برداشت شده در جدول دو، اجرا شد و سپس به منظور بهینه‌سازی پارامترها از روش آزمون خطا استفاده شد. در این مطالعه شش پارامتر برای واسنجی انتخاب شد. پارامترهای عرض معادل، درصد نفوذناپذیری با استفاده از نقشه کاربری اراضی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به دست آمد و خطاهای ناشی از این دو پارامتر مربوط به روش اندازه‌گیری آنهاست (به صورت دستی و سیستم اطلاعات جغرافیایی).

مقادیر این دو پارامتر (عرض معادل، درصد نفوذناپذیری) در حوزه‌های مختلف متفاوت است، بنابراین هر دو پارامتر در تمامی زیرحوزه‌ها به طور هم زمان در واسنجی کاهش یا افزایش داده شده‌اند. مقادیر اولیه و دامنه تغییرات و نتایج مهم اجرای واسنجی پارامترهای مدل SWMM در جدول سه و

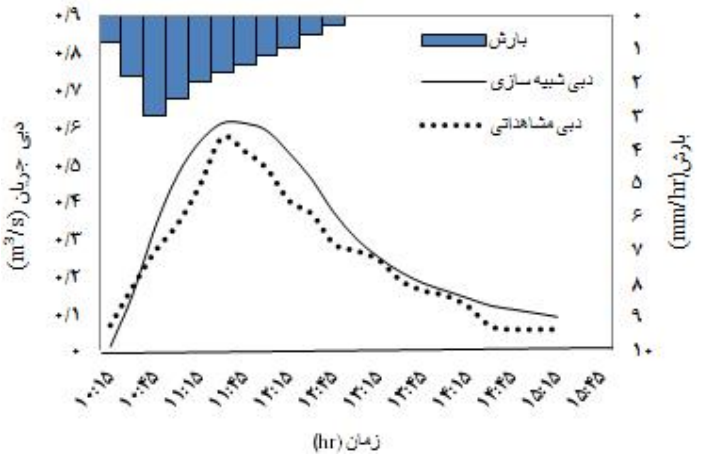
شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داه شده است. پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذناپدیر و نفوذپذیر برای چهار رویداد ذکر شده در جدول یک، در ایستگاه باران‌سنج آب منطقه‌ای شهر گرگان واسنجی شدند که میانگین مقادیر پارامتر واسنجی‌شده بر اساس حجم جریان برای اجرای بعدی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شده است، (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه پارامترهای هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رویدادهای اندازه‌گیری کانال ۳۷۶ در مرحله واسنجی
Table 3. Calibration of hydrology model for measuring the station located at channel No. 376

مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	پارامتر / رویداد
حجم جریان (مترمکعب)	حجم جریان (مترمکعب)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	
۵/۲۳	۶/۲۶	۰/۵۷	۰/۶۱	۱۳۹۰/۱۱/۲۲
۵/۵۱	۴/۲۹	۰/۴۲	۰/۳۹	۱۳۹۰/۱۱/۳۰
۴/۲۵	۳/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۱۳۹۰/۱۲/۱
۶/۶۶	۶/۰۴	۰/۵۳	۰/۵۳	۱۳۹۰/۱۲/۲

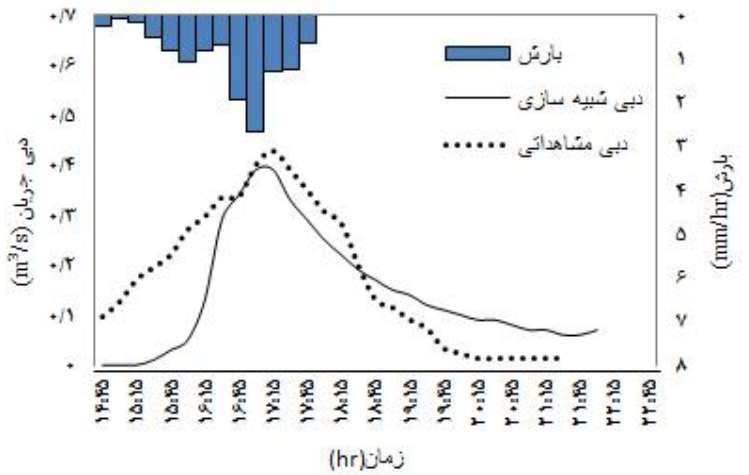
جدول۴- مقادیر اولیه و بهینه شده نتایج اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM
Table 4. The primary amount, optimized amounts and the percentage of variation in results of the main parameters used in SWMM model

پارامتر واسنجی	مقادیر اولیه	مقادیر بهینه	درصد تغییر پارامتر
عرض معادل	۳۸۵/۶۲	–	+۱۰
درصد نفوذناپذیری	۹۲/۸۵	–	-۳۰
ضرب زبری مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۴۳	۰/۰۳۳	-۲۳/۲۵
ضریب زبری مناطق نفوذپذیر	۰/۰۱۳	۰/۸	+۶۰
ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر	۱/۲۷	۲/۶۴	+۲/۶۳
ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر	۲/۵۴	۶/۵۷	+۵/۵۷



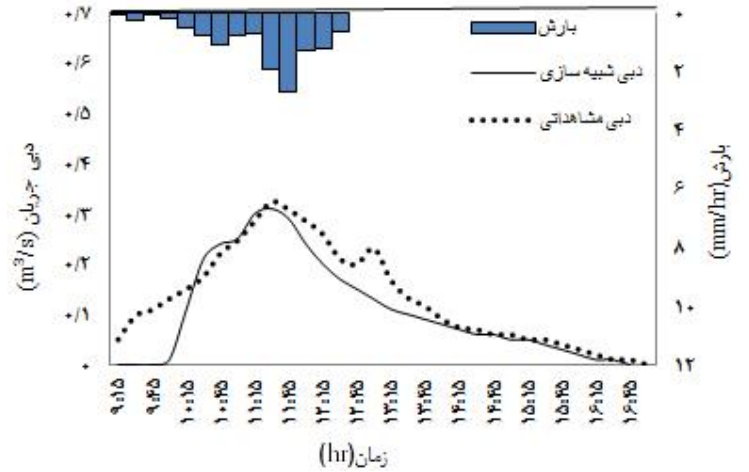
شکل ۲- نتایج واسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۲
Figure 2. Results of calibration of simulated and observed hydrograph for shower dated 20.02.2012

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]



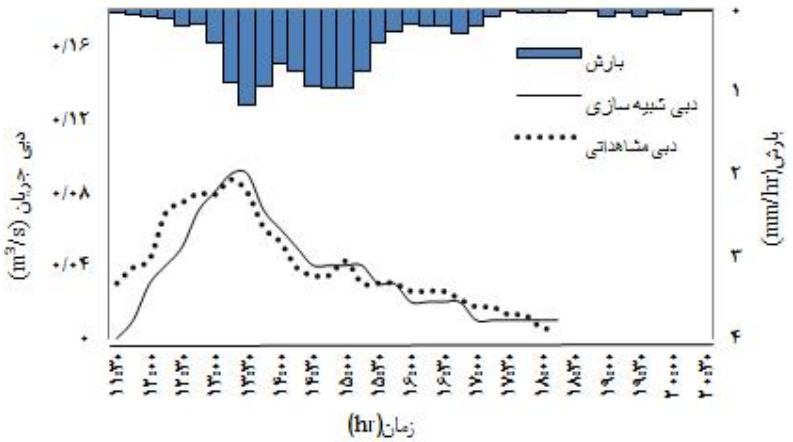
شکل ۳- نتایج واسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۰/۱۱/۳۰

Figure 3. Results of calibration of simulated and observed hydrograph for shower dated 19.02.2012



شکل ۴- نتایج واسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱ /۱۳۹۰/۱۲

Figure 4. Results of calibration of simulated and observed hydrograph for shower dated20.02.2012



شکل ۵- نتایج واسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۲.

Figure 5. Results of calibration of simulated and observed hydrograph for shower dated 21.02.2012

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

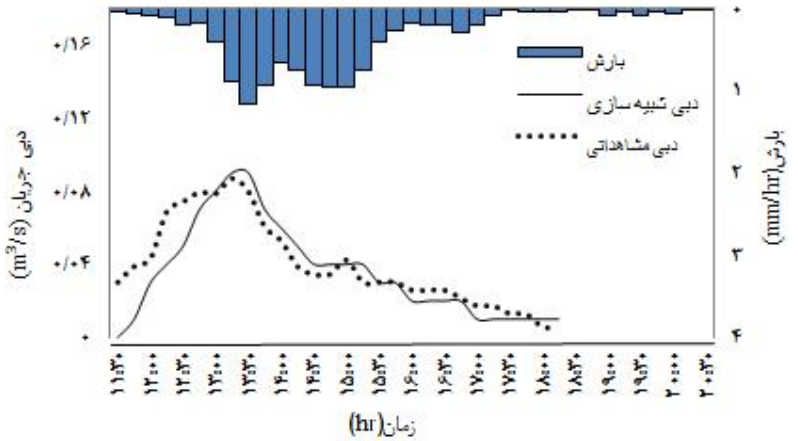
نتایج اعتبارسنجی و ارزیابی مدل SWMM

پس از واسنجی مدل هیدرولوژی، به منظور اعتبارسنجی مدل از دو رویداد مورخ ۹۱/۲/۲ و ۹۱/۲/۱۶ استفاده و مدل اجرا شد. نتایج اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی با رویدادهای مذکور در جدول پنج و در شکل‌های شش و هفت نمایش داده شد. مقدار قابل قبول شاخص نش- ساتکلیف بزرگ‌تراز ۰/۵ در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب شکل هیدروگراف خروجی از مدل است. هم‌چنین مقدار پایین RMSE تأییدی بر قابل پذیرش بودن شکل کلی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل است. مقدار مطلق BIAS% بیش‌تر از ۲۰ درصد نبوده که ثابت می‌کند که مدل کالیبره شده حجم کل جریان را به خوبی پیش‌بینی نموده است (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی برای ایستگاه اندازه‌گیری واقع در کانال شماره ۲۰۱

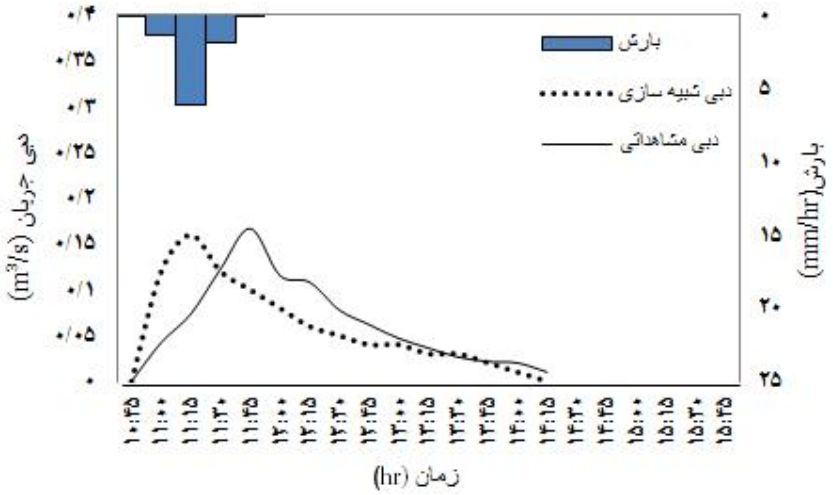
Table 5. validation of hydrology model for measuring the station located at channel No. ۲۰۱

	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی
پارامتر / رویداد	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم جریان (مترمکعب)	حجم جریان (مترمکعب)
۱۳۹۱/۲/۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۱/۴۶	۱/۱
۱۳۹۱/۲/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۸۵	۰/۹۱



شکل ۶- نتایج اعتبارسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۱/۲/۲

Figure 6. Simulated and observed hydrograph of shower dated 21.04.2012 in validation step



شکل ۷- نتایج اعتبارسنجی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۱/۲/۱۶

Figure 7. Simulated and observed hydrograph of shower dated 5.5.2012 in validation step

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM
Table 6. The amount of model efficiency criteria in calibration and validation period for SWMM mo

رخداد	مرحله	فاکتور	NS	%BIAS	RMSE	R
۱۳۹۰/۱۱/۲۲	واسنجی	دبی	۰/۸۱	۴/۸۲	۰/۰۰۷۴	۰/۹۸*
۱۳۹۰/۱۱/۳۰	واسنجی	دبی	۰/۶۴	۱۴/۴۷	۰/۰۰۶۹	۰/۸۱**
۱۳۹۰/۱۲/۱	واسنجی	دبی	۰/۵۴	۲۱/۹۲	۰/۰۰۲۹	۰/۹*
۱۳۹۰/۱۲/۲	واسنجی	دبی	۰/۷۳	۹/۳۳	۰/۰۰۵۹	۰/۹*
۱۳۹۱/۲/۲	اعتبارسنجی	دبی	۰/۷۳	۹/۵۷	۰/۰۰۰۱۵	۰/۸۹*
۱۳۹۱/۲/۱۶	اعتبارسنجی	دبی	۰/۶۵	۶/۶۴	۰/۰۰۰۷۱	۰/۸۴*

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد.

تجزیه و تحلیل نتایج مدل SWMM در طراحی شبکه زهکشی شهری، شبیه‌سازی رواناب سطحی، پیش‌بینی سیلاب و برنامه‌ریزی به منظور کنترل سیل به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت تجزیه و تحلیل و مدیریت داده‌ها و هم‌چنین استفاده از مدل SWMM، سبب افزایش سرعت و دقت لازم جهت محاسبه پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی جریان شده است.

نتایج (۷،۹،۱۰،۱۴،۱۸،۱۹،۲۰) حاکی از قابلیت و توانایی مدل SWMM در شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب است. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی و عمق رواناب در چهار واقعه بررسی شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. مقدار ضریب نش- ساتکلیف برای واقعه اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۸۱/، ۶۴/، ۰/۵۴ و ۰/۷۳ می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود دارد و نشان می‌دهد مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه‌سازی رواناب شهری دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری استفاده منطقه مورد مطالعه استفاده نمود که با یافته‌های (۲۴،۲۱،۱۸،۱۵،۹،۴) مطابقت دارد. علاوه بر این می‌توان از نتایج به دست آمده در فرآیند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده نمود و در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه منطقه مورد نظر است استفاده نمود. نتایج حاصل از واسنجی در این تحقیق با نتایج (۲۱،۵،۴) مطابقت دارد. با توجه به قابلیت‌های مدل SWMM در برآورد رواناب و فراهم کردن خروجی در هر بخش، می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل قبولی برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد (۱۸،۴) و از داده‌های شبیه‌سازی جریان توسط مدل SWMM می‌توان به عنوان ورودی برای مدل‌های دیگر استفاده نمود (۱۲). نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را تأیید می‌کند که در مورد هر دو واقعه اندازه‌گیری در کانال ۱۰۲ متغییر دبی مقدار ضریب نش- ساتکلیف بالاتر از ۰/۵ اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقادیر RMES برای متغییر دبی در فرآیند ارزیابی به ترتیب ۰/۰۰۲۹ و ۰/۰۰۵۹ به دست آمده است که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است. مقادیر BIAS% نشان‌دهنده درصد تغییرات بین میانگین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در n فاصله زمانی است. همان‌طور که در جدول مشخص است مقدار مطلق BIAS% بیش‌تراز ۲۰ درصد نبوده که ثابت می‌کند مدل کالیبره شده حجم کل جریان را به خوبی پیش‌بینی نموده است، بنابراین می‌توان گفت مدل مورد استفاده برآورد به نسبت خوبی از مؤلفه‌های جریان داشته و در مجموع مقادیر به دست آمده صحت فرآیند واسنجی را تأیید می‌کند که با یافته‌های خالقی و همکاران (۹)، رستمی خلج و همکاران (۱۸)، رشیدپور و همکاران (۱۶)، مطابقت دارد. دراین تحقیق هم‌چنین میزان اختلاف معنی‌دار بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط مدل SWMM با استفاده از آزمون t جفتی توسط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که بین مقادیر جریان مشاهداتی و نتایج حاصل از مدل در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با استناد به نتایج به دست آمده از آزمون t جفتی اختلاف معنی‌داری بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل مشاهد نشد و هم چنین با لحاظ کردن نتایج به دست آمده از رابطه‌های رایج برآورد کارایی مدل (۰/۳۶ <CNS<۰/۷۵)، می‌توان گفت، مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه‌سازی رواناب شهری را داشته و از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب سطحی و تعیین ابعاد بهینه شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی در حوزه شهری گرگان نیز استفاده نمود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

منابع

1. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2008. Distributed Hydrological Modeling and Sensitivity and Uncertainty Analysis in Torysa Watershed, Slovakia. Water Resource Management, 22: 393-408.
2. Chang, J.X., Q. Huang and Y.M. Wang. 2005. Genetic Algorithms for Optimal Reservoir Dispatching. Water Resources Management, 19: 321-331.
3. Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and S.M. Cuddy. 2005. IHACRES User Guide. Technical Report. 2005/19.
4. Donquan, Z., C. Jining, W. Haozheng, T. Qingyuan, C. Shangbing and S. Zheng. 2009. GIS-Based Urban Rain Fall-Run off Modeling Using an Automatic Catchment-Discretization Approach: a Case Study in MACAA. Environ Earth Science, 59: 465-472.
5. Du, J.K., S.P. Xie, Y.P. Xu, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2007. Development and Testing of a Simple Physically-Based Distributed Rainfall-Runoff Model for Storm Runoff Simulation in Humid Forested Basins. Journal of Hydrol, 306: 334-346.
6. Fernández, D.S. and M. Lutz. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucumán Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis, Engineering Geology.
7. Hsu, M.H., S.H. Chen and T.J. Chang. 2000. Inundation Simulation for Urban Drainage Basin with Storm Sewer System. Journal of Hydrol, 234: 21-37.
8. Huber, W.C. and R.E. Dickinson. 1992 Storm Water Management Model User's Manual, Version 4. Environmental Protection Agency. Georgia. 266 pp.
9. Khalghi, A. 2010. Simulation of Flow Hydrograph Using SWMM Model and Predict the Effects of Watershed Management Practices in Dry River Shiraz. The Master Sheet, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 128 pp.
10. Jang, S., M. Cho, J. Yoon, Y. Yoon, S. Kim, L. Kim and Aksoyh. 2007. Using SWMM as a Tool for Hydrologic Impact Assessment. Journal of Desalination, 212: 344-356.
11. Liong, S.Y., W.T. Chan and L.H. Lum. 1991. Knowledge-Based System for SWMM Runoff Component Calibration. Jounal of Water Res Pl-ASCE, 117: 507-523.
12. Lin, G.F. and C.M. Wang. 2007. A Nonlinear Rainfall-runoff Model Embedded with an Automated Calibration Method - Part 2: The Automated Calibrationmethod. Journal of Hydrol, 341: 196-206.
13. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River Flow Forecasting Though Conceptual Models. Part 1-A Discussion of Principles: Journal of Hydrol, 10: 282-290.
14. Park, S.Y., K.W. Lee, I.H. Park, S.R. Ha. 2008. Effect of the Aggregation Level of Surface Runoff Fields and Sewer Network for a SWMM Simulation. Desalination, 226 pp.
15. Phillips, B.C., S. Yu, G.R. Thompson and N. Silva. 2005. ID and 2D Modelling of Urban Drainage Systems Using Xp-SWMM and Tu Flow. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhgen / Denmark. 8 pp.
16. Rashidpur, M. 2011. Immersion Depth Determination and Prediction of Urban Flood Victims of Storm Rainfall, Case Studies, Babolsar Urban Areas, Watershed Master's Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, 119 pp.
17. Rossman, L.A. 2009. Storm Water Management Model, User's Manual Version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 259 pp.
18. Rostami Khalaj, M. 2012. Urban Flood Hazard Zoning Combining Hydrologic and Hydraulic Model Study, The Two Mashhad Municipality, Watershed Master's Thesis, University of Tehran, 116 pp.
19. Selvalingam, S., S.Y. Liong and P.C. Manoharan. 1978. Use of RORB and SWMM Models to an Urban Catchment in Singapore. Journal of Advances in Water Resources, 10: 78-86.
20. Scotta, L. 2006. Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM). Department of Civil and Environmental Engineering, Manhattan College, Parkway, Riverdale, New York. 1-10.
21. 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.
22. Tsihrintzis, V. and R. Hamid. 1998. Runoff Quality Prediction from Small Urban Catchments Using SWMM. Hydrological Processes, 12: 311-329.
23. Wang, Q.J. 1991. The Genetic Algorithm and its Application to Calibrating Conceptual Rainfall Runoff Models. Water Resour. Resorce, 27: 2467-2471.
24. Zeppou, C. 2001. Reviw of Urban Storm Water Model Environmental Modelling & Soft wave, 16: 95-23.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]

Calibration and Evaluation of the Hydrologic- Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan)

Saman Badieizade[1] and Abdolreza Bahrehmand[2] and Amir Ahmad Dehghani[3]

1- Graduated M.Sc., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Corresponding author: saman.badie84@gmail.com)
2 and 3- Associate Professor and Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: March 10, 2013 Accepted: January 21, 2015

Abstract

This study was done to simulate runoff of Gorgan city using of the hydrologic-hydraulic model SWMM. In this study, to calibrate the model, four rainfall events, were used and the speed of the corresponding runoffs in the chosen sub basin were recorded. In this study, NS, RMSE and BIAS% were used as model performance indices in the estimating peak discharge and flow volume. Also significant and no significant differences between the observed and simulated values by paired t test were investigated. The model calibration results showed that the simulated peak discharge and flow volume are in good correspondence with the observed values (BIAS%= 11.44, RMSE= 0.006 and NS= 0.70) and the calibration results were used for the optimum values of parameters. To evaluate and test model validation, two rainfall events, were used. That the model performance indices were acceptable in both cases (BIAS%= 8.01, RMSE= 0.00043 and NS= 0.69). Furthermore, according to paired t test of difference between observed and simulated values in the calibration and validation of the model error (0/01 or 0/05) are not significant. The results of the study indicate that the model has the accuracy required for urban runoff simulation.

Keywords: Gorgan city, Hydrologic- hydraulic model SWMM, Simulation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.1.3]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.10]