دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: شهر مشهد، منطقه ۹)

فاطمه رضایی[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲]، واحد بردی شیخ[۲]، محمد تقی دستورانی[۳] و سیدمحمد تاج بخش[۴]

۱- دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسوول: frezayi25@yahoo.com)
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استاد دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استادیار دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۸

چکیده

با توجه به رشد سریع شهرسازی و شهرنشینی در ایران، مشکلاتی از جمله آب‌گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها از معضلات اساسی بسیاری از حوزه‌های شهری ایران به شمار می‌آیند، که شهر مشهد نیز از این قائده مستثنی نبوده است. هدف از انجام تحقیق حاضر تعیین مهمترین پارامترهای تأثیرگذار (درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر، شیب زیرحوزه و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی) بر ایجاد رواناب در منطقه ۹ شهر مشهد و ارزیابی عملکرد مدل SWMM می‌باشد. در تحقیق حاضر برای شبیه‌سازی رواناب و مشخص کردن نقاط حساس به آب‌گرفتگی از مدل SWMM استفاده گردید. برای تعیین زمان تداوم رگبار طراحی، زمان تمرکز حوزه با مساحت ٤١/٧٤ کیلومتر مربع محاسبه و تداوم رگبار طرح برابر زمان تمرکز حوزه در نظر گرفته شد. با انجام آنالیز حساسیت مشخص شد از بین ۸ پارامتر استفاده شده بیشترین تأثیر را درصد مناطق نفوذناپذیر روی میزان دبی اوج دارد بعد از این به‌ترتیب پارامتر ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، شیب، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی در رتبه بعدی قرار داشته‌اند. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی چهار واقعه بررسی شده انطباق خوبی دارد که مقدار NS برای وقایع بیشتراز ۰/۵ می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را با مقدار NS بالاتر از ۰/۵ تایید می‌کند. همچنین مقادیر RMSE برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به ترتیب برابر ۰/٦، ۰/٦٥، ۰/٥٨ و ۸۰/۹۱ و ۰/٦١ و ۱/١٤ شد، که نشان دهنده نتایج قابل قبول مدل است. در نتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد و این می‌تواند نشان دهنده این باشد که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری با تعیین اثرات مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، ارزیابی مدل، رواناب شهری، زمان تمرکز، کالیبراسیون، مدل SWMM

مقدمه

در دنیای امروز ما، که زندگی شهری خسارات جبران ناپذیری را به طبیعت وارد آورده و منابع طبیعی را در معرض تهدید قرار داده است، مدیریت و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آب‌های سطحی در حیطه کلانشهرها از اهمیت خاصی برخوردار است. تخریب حوزه آبخیز بالادست نواحی شهری به صورت‌های مختلف از جمله تخریب پوشش گیاهی و جاده‌سازی، هم چنین گسترش بی‌رویه اراضی شهری و صنعتی، سبب کاهش نفوذ و افزایش رواناب می‌شود. از سوی دیگر رژیم بارش غالب در کشور به صورت رگبارهای شدید و کوتاه مدت بهاره و بعضا تابستانه است که فرصت نفوذ باران به داخل خاک را کاهش می‌دهد و در نتیجه بخش قابل توجهی از بارش به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌شود، از این‌رو رودخانه‌ها و مسیل‌های حوزه‌های آبخیز شهری از درجه ریسک زیادی برای سیل‌خیزی و خسارات ناشی از آن برخوردارند و دستیابی به توسعه پایدار شهری نیازمند طراحی مدل‌های مناسب مدیریت و حفاظت رودخانه‌ها و مسیل‌ها در حوزه‌های آبخیز شهری است (۱۹).

در شرایطی که میزان بارندگی و رواناب حاصله بیش از ظرفیت شبکه جمع‌آوری باشد، خیابان‌ها فعال گردیده و انتظار می‌رود هم انباشت و هم انتقال آب توسط خیابان‌ها انجام شود. از طرف دیگر جاری شدن رواناب بر روی خیابان‌های شهر باعث بروز اختلال در ترافیک می‌شود و ممکن است خطراتی را نیز همراه داشته باشد (۲۰). سیلاب شهری، حجم آبی است که خارج از ظرفیت زهکشی شهر می‌باشد و منجر به بروز یکسری از مشکلات و خسارات در شهر می‌گردد. نقشه‌های منتشر شده از طرف سازمان‌های بین‌المللی حاکی از افزایش سیلاب‌های شهری است (۱۰). به منظور پیش‌بینی عملکرد هیدرولیکی از کل سیستم، نیاز به استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته و مدلسازی‌های جدید و کارآمدتر هستیم. محققین در طول سال‌های اخیر سعی داشته‌اند که رابطه هر چه دقیق‌تری بین بارش و رواناب ناشی از آن برقرار نمایند. در همین راستا مدل‌های هیدرولوژیکی مختلفی ارائه شده‌است. مدل SWMM[1] یکی از مدل‌هایی است که دقّت قابل قبولی دارد و طی چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۲۱،۴،۲،۲۲). مدل SWMM

1- Storm Water Management Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

نخستین مدل جامع برای بررسی رواناب شهری و یکی از پیشرفته‌ترین مدل‌های رایانه‌ای در این زمینه به حساب می‌آید که حاصل پژوهش بخش منابع آب از آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[1] می‌باشد استفاده از این مدل از سال ۱۹۷۱ شروع شده و پس از آن چندین بار بصورت کامل اصلاح شده است. این مدل به‌طور گسترده‌ای جهت برنامه‌ریزی، آنالیز و طراحی مربوط به رواناب ناشی از رگبار شبکه فاضلاب خانگی، شبکه فاضلاب ترکیبی و دیگر شبکه‌های زهکشی موجود در مناطق شهری و همچنین مدل‌سازی مناطق غیرشهری در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدل SWMM یا مدل مدیریت رواناب سطحی یک مدل دینامیک شبیه‌سازی بارش رواناب بوده و می‌تواند برای یک واقعه و یا به‌صورت مداوم کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی نماید (۱۲). مدل SWMM در موارد زیادی به کار گرفته شده است که در این‌جابه برخی از آنها اشاره می‌شود.

شهبازی و همکاران (۲۱)، طی انجام تحقیقی در ماهدشت کرج به بررسی میزان تأثیر ۱۰ پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، زمان تمرکز، شماره منحنی (CN)، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی با استفاده از مدل SWMM در ایجاد سیلاب شهری پرداختند. در نتیجه بیان داشتند که مهم‌ترین عامل در ایجاد سیلاب شهری افزایش اراضی نفوذناپذیر بوده و کم تأثیرترین پارامتر مربوط به ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر است. عینلو (۲) طی مطالعه‌ای در شهر زنجان بیان داشتند که درستی و تطابق شبیه سازی‌های مدل SWMM بر اساس وقایع بارش – رواناب مشاهداتی مورد تائید است. کریمی و همکاران (۱۶) در تحقیقی از مدل SWMM برای شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری بابلسر استفاده کردند، نتایج شبیه‌سازی کمی سیلاب نشان داد که از کل ۲۵۹ گره موجود در شبکه مجاری زیرزمینی و سطحی ۳۲، ۵۷ و ۶۰ گره به ترتیب در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال دچار سیلاب شدند و همچنین با توجه به بررسی‌های میدانی، نقشه‌های موجود رقوم ارتفاعی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته به نتیجه رسیدند، علت اصلی آبگرفتگی‌ها، کوچک بودن سطح مقطع مجاری آبرو و همچنین شیب کم و معکوس در برخی نقاط شبکه بوده است و با مطابقت نتایج شبیه‌سازی آبگرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با آنچه که هر ساله درآنجاروی می‌دهد، موید صحت شبیه سازی‌های مدل می‌باشد.

چن و همکاران (۶) در مناطق با شرایط توپوگرافی مختلف به‌منظور کاهش‌دادن زمان پیش‌بینی سیلاب، مدل‌های دوبعدی که در برنامه‌ی کامپیوتری C++ انجام می‌شود را با برنامه‌ی یک بعدی SWMM ترکیب کرده و از نتایج آن در جهت طراحی سیستم‌های زهکشی شهری استفاده نمودند. این ترکیب، ظرفیت بالایی را در شرایطی که جریان‌های متنوعی در دشت‌های سیلابی واقعی اتفاق می‌افتد نشان داد. علاوه بر آن مشخص شد که این مدل امکان شبیه‌سازی روندهای رطوبت و خشکی در جریان‌های سیلابی مناطق شهری را نیز دارد. ضمن اینکه پارامترهای مختلف سیل‌گرفتگی از جمله عمق و حجم رواناب را هم با خطای کمی اندازه‌گیری می‌کند.

فیوترل (۱۹) افزایش حجم و آبدهی رواناب شهری خطر آبگرفتگی و غرقاب شدن معابر و اماکن عمومی و خصوصی را بیشتر می‌کند و جاری شدن باران در سطح اراضی شهری علاوه‌بر مشکلات تردد و ترافیک، مسئله آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی پذیرنده رواناب شهری را مطرح می‌سازد. تینگ سن چی (۲۵) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی LISFLOOD-FD و تصاویر ماهواره‌ای LIDAR با قدرت تفکیک بالا اقدام به تهیه نقشه سیلاب گرفتگی شهر السستر انگلستان کردند و برای اعتبار سنجی مدل از دو واقعه سیل آب گرفتگی در ژوئن و جولای ۲۰۰۷ استفاده شد. نتایج نشان داد که با توجه به تفاوت ناگهانی ارتفاع ساختمان‌ها و درختان در نزدیکی خیابان تخمین دقیق در تصاویر ماهواره ای مشکل است لذا برای افزایش دقت باید از مقاطع عرضی خیابان اطلاع داشت تا بتوان نقشه آب گرفتگی را با صحت بیشتری فراهم کرد. قاسمی و همکاران (۱۱) طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWMM به بررسی میزان تأثیر حوضچه‌های تاخیری بر کاهش رواناب پرداختند نتایج نشان داد، استفاده از حوضچه‌های تاخیری، در منطقه مورد مطالعه آب و برق مشهد با وجود مساحت محدود کارگشا بوده و موجب کاهش دبی اوج هیدروگراف، افزایش رخداد زمان پیک سیلاب و در نتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیلاب می‌گردد. به همین منظور در طی دو مرحله مدل‌سازی، جانمایی برای دو و سه مکان مناسب جهت احداث حوضچه‌های کنترل سیلاب شناسایی گردید که در صورت استفاده از دو مخزن، دبی پیک ۳۱ درصد و در صورت استفاده از سه مخزن، دبی پیک ۳۸ درصد کاهش می‌یابد. بدیعی‌زاده و همکاران (۵) به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی شهر گرگان از مدل هیدرولوژی–هیدرولیکی SWMM استفاده کردند به منظور واسنجی مدل از چهار واقعه بارندگی استفاده شد و سرعت رواناب حاصل از هر واقعه بارندگی در خروجی زیرحوزه‌ها اندازه‌گیری شد همچنین معنی‌داری و عدم معنی‌داری میزان اختلاف بین مقادیر دبی و حجم جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط آزمون t جفتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد و هم‌چنین به منظور ارزیابی مدل، از دو واقعه بارندگی استفاده شد. به منظور برآورد دقت مدل از شاخص‌های کارایی مدل شامل NS، RMSE و BIAS% مربوط به برآورد دبی اوج و حجم جریان استفاده کردند و به نتیجه رسیدند مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارا می‌باشد. حسین‌زاده و همکاران (۱۴) شهر مشهد به عنوان یکی از مناطق متمرکز شهری و جمعیتی، طی سال‌های اخیر رشد و توسعه چشمگیری داشته است و به تناسب این توسعه شهری، اراضی طبیعی زیادی تبدیل به سطوح نفوذناپذیر شهری شده است که متعاقباً با

1- Environmental Protection Agency

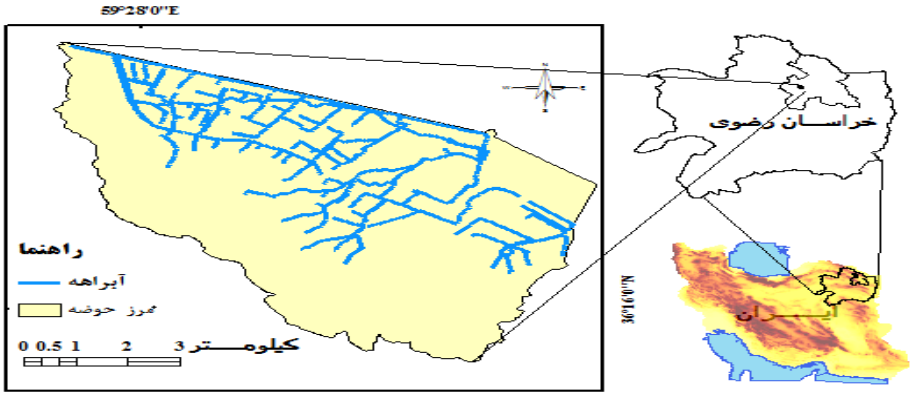
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

تغییر در چرخه آبی، میزان رواناب تولیدی از نظر سرعت انتقال، حجم و دبی‌های پیک و... تغییر یافته است و آبگرفتگی معابر و خیابان‌ها را به همراه داشته است. گسترش شهر به سمت جنوب و غرب و تسخیر اراضی شیب‌دار پای‌کوه ضمن آسیب‌پذیری بیشتر شهر در برابر سیلاب‌های دوره‌ای، بر حجم سیلاب حاصل از سطوح مذکور نیز افزوده است. از اینرو تحقیق حاضر، در منطقه ۹ شهرداری مشهد به دلایلی از جمله ۱- حساسیت به سیل‌خیزی از سمت حوزه‌های بالا دست ۲- دارای سابقه سیل‌خیزی کمتر از ۴۰ سال و ۳- داشتن کانال‌های تقریبا منظم به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر ایجاد رواناب در منطقه مورد مطالعه و ارزیابی عملکرد مدل SWMM جهت حصول اطمینان از عملکرد مدل ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

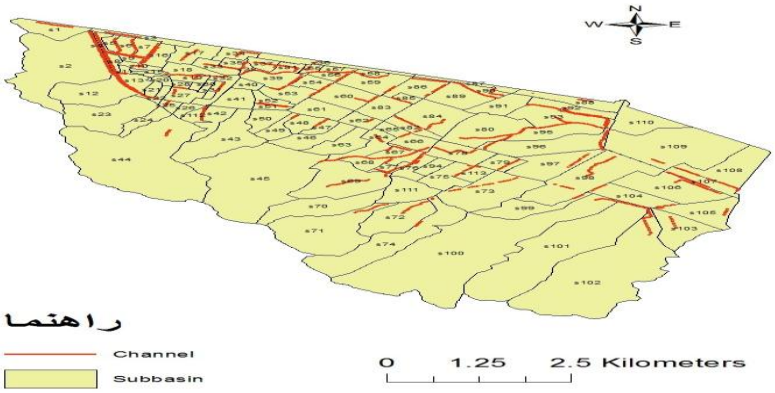
منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد با آب و هوای معتدل و متمایل به سرد و خشک، در شمال شرق ایران واقع شده است و از سمت شمال، مشرق و مغرب به دشت توس و در جنوب به ارتفاعات بینالود منتهی می‌گردد .این شهر با جمعیتی بالغ بر ۲۴۱۰۸۰۰ نفر به ۱۳ منطقه شهرداری تقسیم شده است. یک‌چهارم مساحت منطقه‌ی ۹ واقع در جنوب غربی مشهد، در دامنه ارتفاعات قرار گرفته و از شیب نسبتاً تندی برخوردار است. در هنگام بارندگی، رواناب حاصل از بارش در این منطقه،از سطح حوزه‌های آبخیز بالادست به سمت شهر جاری شده و از طریق سیل‌های طبیعی دفع می‌شود. در شکل (۱) مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و مرز زیر حوزه‌ها

Figure 1. Map of Study Area and Sub Catchment Border



شکل ۲- نقشه مرز زیر حوزه‌های منطقه مورد مطالعه و کانال‌ها

Figure 2. Map of Sub Catchment Border and Counduit of Study Area

روش تحقیق

داده‌های مورد نیاز مدل SWMM: ورودی‌های موردنیاز مدل عبارتنداز: خصوصیات فیزیکی زیرحوزه‌ها، مشخصات شبکه زهکشی و دادههای هواشناسی و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه، که به شرح زیر می‌باشند.

تعیین مرز حوزه و واحدهای هیدرولوژیک شهری: برای تعیین مرز واحدهای هیدرولوژیک شهری از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، نقشه مسیر کانال‌ها، مسیل‌های زهکشی و نقشه بلوک‌های ساختمانی که از اداره کل راه و شهرسازی استان مشهد و شهرداری مشهد تهیه شد استفاده گردید. سپس بر اساس جهت حرکت رواناب روی کلیه معابر (مسیرهای اصلی و فرعی کانال‌ها و جوی‌های آب)، زیرحوزه‌ها تعیین گردید. مساحت، عرض معادل زیر حوزه‌ها و شیب متوسط مستقیماً با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد و درصد مناطق نفوذناپذیر با استفاده از نقشه کاربری بدست آمد که نتایج بدست آمده در جدول (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها

Table 1. The Parameters Calculated Values of Sub Catchment

زیر حوزه	مساحت (ha)	عرض معادل (m)	شیب (٪)	درصد مناطق نفوذناپذیر
۱S	۴۱/۲۳	۲۰۲/۶	۵/۸۸	۲۰
۱۰S	۹/۸۵	۴۰/۵۷	۴	۹۰
۱۰۰S	۴۸۰/۴	۴۱۲۵	۱۹/۵۴	۳۰
۱۰۱S	۳۰۵/۱	۳۱۲۵	۱۵/۱۲	۳۰
۱۰۲S	۳۸۰/۴	۳۲۵۴	۱۹/۷۱	۱۵
۱۰۳S	۶۲/۶۶	۲۸۵/۹	۷/۱۲	۵۰
۱۰۴S	۴۵/۹۸	۲۱۵/۹	۳/۲۸	۹۰
۱۰۵S	۶۲/۱۱	۳۰۶	۳/۸۳	۷۰
۱۰۶S	۹۴/۰۶	۵۵۹/۸	۳/۲۷	۹۰
۱۰۷S	۲۷/۴۲	۹۴/۲۳	۳/۰۳	۹۰
۱۰۸S	۷۶/۷۵	۳۳۸/۱	۳/۲۵	۲۰
۱۰۹S	۱۸۹/۸	۱۲۹۲	۲/۴۷	۲۰
۱۱S	۴/۹۲	۱۵/۸۳	۳/۸۹	۲۰
۱۱۰S	۵۶/۵۹	۲۵۲/۶	۲/۲۴	۵
۱۱۱S	۴۸/۶۷	۲۶۱/۴	۵/۹۱	۹۰
۱۱۲S	۱۲/۲۴	۴۶/۱۶	۴/۱	۹۰
۱۱۳S	۱۷/۶۳	۸۹/۱۲	۴/۶	۹۰
۱۲S	۸۱/۴۴	۴۹۳/۲	۱۴/۸۶	۳۰
۱۳S	۱۹/۷۸	۸۷/۶۱	۴/۶۳	۹۰
۱۴S	۴/۴۶	۱۴/۴۷	۵/۶۵	۱۵
۱۵S	۵/۱۸	۱۷/۹۴	۳/۲۷	۱۰
۱۶S	۲۱/۲	۹۴/۵۴	۲/۷۸	۹۰
۱۷S	۳۴/۶	۱۶۳/۶	۲/۲۶	۹۰
۱۸S	۲۲/۷۴	۱۰۰/۵	۲/۴۱	۹۰
۱۹S	۱۲/۶۲	۶۱/۱۶	۴/۰۴	۹۰

ادامه جدول ۱- مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها

Continue Table 1. The parameters Calculated values of Sub Catchment

زیر حوزه	مساحت (ha)	عرض معادل (m)	شیب (٪)	درصد مناطق نفوذناپذیر
۲S	۲۲۳/۵	۲۴۱۶	۹/۴۴	۳۰
۲۰S	۶/۱۲	۲۸/۴۴	۳/۵۶	۹۰
۲۱S	۹/۸۵	۳۷/۶۲	۴/۳۸	۹۰
۲۲S	۱۰/۱۴	۳۲/۳	۵/۹۵	۹۰
۲۳S	۱۰۰/۲	۵۹۳/۸	۱۷/۸	۱۵
۲۴S	۲۳/۸	۸۵/۹۱	۱۲/۶۵	۴۰
۲۵S	۸/۷۲	۴۱/۰۲	۳/۱	۹۰
۲۶S	۱۱/۰۲	۴۴/۹۵	۴/۰۵	۹۰
۲۷S	۲۰/۱۶	۱۰۰/۵	۴/۷۴	۹۰
۲۸S	۶/۱۷	۳۰/۴۹	۳	۹۰
۲۹S	۳/۷۱	۱۸/۲۶	۲/۴۴	۹۰
۳S	۱۸/۸۶	۴۹/۶	۲/۳۳	۹۰
۳۰S	۵/۴۸	۲۳/۰۱	۳/۲	۹۰
۳۱S	۸/۰۹	۳۰/۸۱	۴/۳۳	۹۰
۳۲S	۲۱/۷۸	۶۲/۷۲	۴/۳۹	۹۰
۳۳S	۱۹/۰۷	۸۴/۷۸	۲/۱۷	۹۰
۳۴S	۱۸/۸	۸۲/۶۴	۲/۱۲	۹۰
۳۵S	۹/۲۴	۴۴/۱۱	۳/۲۲	۹۰
۳۶S	۳۱/۳۵	۷۳/۲۱	۲/۳۴	۹۰
۳۷S	۱۴/۰۹	۷۰/۲۶	۲/۶۴	۹۰
۳۸S	۵/۳۱	۱۶/۷۹	۲/۹۳	۹۰
۳۹S	۳۴/۶۵	۱۶۳/۵	۴/۱۲	۹۰
۴S	۸/۲۲	۲۳/۰۲	۴/۱	۹۰
۴۰S	۱۱/۱۶	۵۵/۱۵	۳/۹۵	۹۰
۴۱S	۳۱/۰۸	۱۶۹/۵	۴/۴۸	۹۰
۴۲S	۳۳/۱۵	۱۰۶/۹	۷/۵	۸۰
۴۳S	۹۸/۹۹	۴۴۷/۴	۱۷/۸	۵۰
۴۴S	۳۶۹/۶	۱۹۰۹	۲۰/۵	۳۰
۴۵S	۳۱۲	۲۱۵۴	۲۰/۰۵	۳۰
۴۶S	۴۳/۹۹	۱۸۲/۲	۱۷/۵۴	۵۰
۴۷S	۱۳/۹۶	۶۱/۷۳	۱۰/۷۷	۶۵
۴۸S	۲۲/۳۳	۱۱۳/۲	۸/۸۷	۶۵
۴۹S	۲۲/۳۳	۹۱/۰۶	۲۰/۸۵	۵۰
۵S	۹/۷۷	۳۹/۱۳	۲/۹۲	۹۰
۵۰S	۲۹/۸۳	۱۴۲	۱۰/۴۸	۸۰
۵۱S	۸/۵۲	۳۵/۸۹	۴/۲۲	۹۰

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

ادامه جدول ۱- مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها

Continue Table 1. The parameters Calculated values of Sub Catchment

زیر حوزه	مساحت (ha)	عرض معادل (m)	شیب (٪)	درصد مناطق نفوذناپذیر
S52	۱۳/۷۳	۵۳/۲۹	۴/۳۸	۹۰
S53	۳۰/۹۹	۱۴۲/۵	۳/۸۲	۹۰
S54	۱۸/۳۵	۹۰/۲۲	۳/۱۲	۹۰
S55	۶/۷۹	۳۱/۸۹	۳/۲۱	۹۰
S56	۱۲/۱۵	۵۵/۶۶	۲/۴۲	۹۰
S57	۸/۰۳	۳۴/۲۳	۲/۱	۹۰
S58	۷/۴۹	۳۴/۵۷	۲/۱۶	۹۰
S59	۴۴/۲	۲۱۷/۱	۳/۰۴	۹۰
S6	۱۴/۱۴	۶۳/۹۴	۱/۸۱	۹۰
S60	۴۸/۰۲	۲۷۵/۱	۳/۸۳	۹۰
S61	۳۷/۵۴	۱۹۹/۴	۴/۴۱	۹۰
S62	۲۰/۳	۱۰۲/۴	۲/۹۸	۹۰
S63	۴۱/۴۹	۱۷۹/۷	۱۱/۶۱	۷۰
S64	۳۵/۶	۱۲۵/۲	۶/۵۱	۶۰
S65	۱۳/۰۷	۶۱/۸۹	۳/۹۲	۹۰
S66	۲۵/۰۳	۱۳۳/۹	۴/۳۵	۹۰
S67	۱۷/۲۷	۷۴/۹۲	۳/۴۸	۹۰
S68	۳۱/۵۷	۱۱۳/۲	۵/۹۴	۹۰
S69	۱۱۲/۹	۷۷۹	۸/۴۲	۹۰
S7	۱۶/۸۹	۷۷/۴۴	۲/۰۵	۹۰
S70	۸۷/۷۹	۳۷۹/۲	۱۸/۲	۱۵
S71	۱۵۹/۴	۱۴۲۵	۲۸/۱۴	۱۵
S72	۷۹/۱۷	۴۸۵/۲	۱۱/۲۹	۴۰
S73	۱۰۹/۹	۸۰۴/۶	۱۱/۸۵	۱۵
S74	۱۵۲/۴	۵۷۴/۵	۲۳/۲۵	۱۵
S75	۳۹/۵	۱۷۶/۸	۴/۵۷	۹۰
S76	۲۱/۸۲	۷۸/۰۹	۴/۴۳	۹۰
S77	۱۱/۵۷	۴۵/۴۶	۵/۲۳	۹۰
S78	۴۵/۵۸	۲۴۲/۳	۳/۵۱	۹۰
S79	۲۲/۷	۱۲۰/۳	۳/۳۷	۹۰
S8	۹/۸۶	۳۶/۱۷	۳/۶۱	۹۰
S80	۸۶/۸۷	۵۶۲/۲	۳/۷۵	۶۰
S81	۱۲/۶	۵۸/۰۳	۳/۵۳	۹۰
S82	۲۰/۴۵	۸۰/۰۴	۳/۲۶	۹۰
S83	۳۶/۲۶	۲۰۱/۱	۳/۸۶	۹۰
S84	۷۱/۳۷	۴۱۸	۳/۷۶	۹۰

ادامه جدول ۱- مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها

Continue Table 1. The parameters Calculated values of Sub Catchment

زیر حوزه	مساحت (ha)	عرض معادل (m)	شیب (٪)	درصد مناطق نفوذناپذیر
S85	۸/۳۲	۴۱/۱۵	۲/۸	۹۰
S86	۳۶/۷۶	۱۷۵/۷	۳/۶۶	۹۰
S87	۱۴/۷۴	۳۴	۲/۳۸	۹۰
S88	۳۹/۲۵	۱۳۵/۷	۲/۲۶	۹۰
S89	۴۹/۹	۲۸۳/۸	۳/۱۱	۹۰
S9	۷/۹	۳۰/۳۴	۱/۸۵	۹۰
S90	۱۲/۳	۴۶/۱۸	۲/۹۲	۹۰
S91	۳۷/۴۴	۱۸۹/۲	۳/۰۲	۹۰
S92	۲۸/۴۲	۱۰۰/۱	۳/۳۵	۹۰
S93	۶۴/۸۱	۳۰۰	۲/۸۸	۶۰
S94	۱۵/۳۴	۷۲/۲۵	۴/۷۴	۹۰
S95	۴۸/۳۵	۲۲۰/۷	۳/۲	۵۵
S96	۸۷/۵۱	۴۱۳/۶	۳/۶۱	۵۰
S97	۷۳/۶۸	۳۶۶/۹	۴/۵۷	۹۰
S98	۱۴۳/۲	۸۲۱/۳	۶/۵۸	۷۰
S99	۵۲/۳۷	۱۸۲/۴	۱۵/۷۸	۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

مقادیر ضریب زبری در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ذخیره سطحی در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی از تلفیق اطلاعات میدانی و نقشه‌های کاربری در نرم‌افزار ArcGIS بدست آمد.

اطلاعات مجاری سیستم زهکشی: برای محاسبه خصوصیات مجاری بازید میدانی و یادداشت خصوصیات آن مانند طول آبرو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف وسطح مقطع الزامی است که در این مطالعه اطلاعات موردنیاز برداشت شد.

اطلاعات موردنیاز اتصالات: مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیرحوزه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازید میدانی و مشخصات آنها از قبیل رقوم کف، طول و عرض جغرافیایی و حداکثر عمق اتصالات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] مشخص گردید.

اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی: این اطلاعات شامل مقادیر بارش (تک واقعه یا پیوسته)، تبخیر ماهانه، سرعت بادوهمچنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعه رگباری برخی از اطلاعات فوق‌الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند، بااین حال این اطلاعات با فرض واقعه رگباری وبه شکل زیر در مدل جایگزین شده است. با توجه به فرضیات و امکانات مدل در خصوص دما از انتخاب عدم وجود اطلاعات استفاده شده است. در خصوص تبخیر با توجه به اینکه زمان وقوع رگبارهای اندازه‌گیری شده در فصلی بوده که هوا سرد است، میزان تبخیر برابر صفر در نظر گرفته شد.

از آنجا که برآورد رواناب در مدل SWMM و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری بر اساس مقادیر بارش می‌باشد بنابراین این اطلاعات از مهمترین و اساسی‌ترین اطلاعات مورد استفاده مدل هستند. در این مطالعه شش واقعه رگباری برای ارزیابی و واسنجی مدل استفاده شد.

آنالیز حساسیت مدل SWMM: برای انجام آنالیز حساسیت از بین پارامترهای موجود هشت پارامتر درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر، شیب زیرحوزه و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، دبی اوج سیلاب که مؤثرترین پارامتر برآورد سیلاب است، به عنوان متغیر وابسته برای بررسی در نظر گرفته می‌شود. برای انجام آنالیز حساسیت از بارش طراحی در دوره بازگشت ۲۵ سال استفاده شد (۲۰،۱) هر کدام از هشت پارامتر مطرح شده در تمام زیر حوزه‌ها به مقدار ۵±، ۱۰±، ۱۵± و ۳۰± درصد از مقادیر اولیه کاهش و افزایش داده خواهد شد و با تغییر مقدار هر پارامتر مدل اجرا و تأثیر آن‌ها بر دبی اوج سیلاب خروجی حوزه اندازه‌گیری می‌شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM: از چهار واقعه ۱۳۹۳/۱۰/۲۰، ۱۳۹۳/۱۱/۲۶، ۱۳۹۳/۱۲/۲ و ۱۳۹۳/۱۲/۱۵ برای واسنجی مدل استفاده شد و از دو واقعه ۱۳۹۴/۱/۷ و ۱۳۹۴/۱/۱۱ برای ارزیابی مدل استفاده شد. قابل ذکراست، از آنجا که هیچگونه ایستگاه اندازه‌گیری هیدرومتری جهت اندازه‌گیری دبی در داخل شهر وجود نداشت، سرعت و ارتفاع رواناب متناظر با این رگبارها در کانال۲۵۲۶ با استفاده از خطکش Rod کالیبره شده برداشت گردید. به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل از هشت پارامتر مهم استفاده شد، پارامترهای اولیه و دامنه تغییرات آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات قابل قبول متغیرهای مدل SWMM

Table 2- The primary amount and Variation range of the main parameters used in SWMM model

متغیر	مقادیر اولیه	دامنه تغییرات مجاز	منبع
درصد مناطق نفوذناپذیر	–	±۳۰	Temprano et al (24)
شیب (٪)	–	±۳۰	Temprano et al (24)
عرض معادل (متر)	–	±۳۰	Temprano et al (24)
ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱-۰/۰۳۳	Huber and Dickinson (15)
ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذپذیر	۰/۰۵	۰/۰۲-۰/۸	Huber and Dickinson (15)
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر(mm)	۱/۷۷۸	۰/۳-۲/۵	Huber and Dickinson (15)
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر(mm)	۳/۸۱	۲/۵-۵/۱	Tsihrintzis and Hamid (26)
درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیر سطحی	۱۶	۵-۲۰	Huber and Dickinson (15)

بارش طرح: برای مشخص کردن بارندگی طرح لازم است در ابتدا زمان تمرکز مشخص گردد، برای محاسبه زمان تمرکز از روش صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب بااستفاده از خطکش Rod کالیبره شده انجام گردید (۴، ۵). 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 هایتوگراف‌های رگبار در دوره بازگشت ۲۵ ساله در زمان تمرکز به عنوان ورودی به مدل تهیه شد برای این منظور از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک مشهد انجام شد.

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل SWMM: در این مطالعه تنها از شش واقعه نمونه برداری صورت گرفت که چهار مورد برای واسنجی و دو مورد برای اعتبار سنجی مدل استفاده شد. از رایج‌ترین روابط ریاضی که در اکثر مطالعات هیدرولوژی شهری از آن‌ها استفاده می‌شود عوامل ضریب ناش ساتکیف[2] و مجذور میانگین مربعات خطا[3] و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا[4]

1- Geographic Information System
2- Nash-Sutcliff
3- RMSE
4- Kling-Gupta Efficiency

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

می‌باشد (۱۳). در این مطالعه نیز از این چهار معیار برای بررسی صحت واسنجی و اعتبار سنجی مدل استفاده گردید.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - Q_{av})^2} \quad (۱)$$

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

$$BIAS\,\% = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Qsim - Qobs)^2}{\sum_{i}^{n} Qobs} \quad (۳)$$

در اینجا Q_{sim}: دبی شبیه‌سازی شده و Qobs: دبی مشاهداتی در زمان i، Qav: میانگین دبی مشاهداتی و n: تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. در صورتی که مقدار NS مثبت باشد نشان‌دهنده این است که داده‌های شبیه‌سازی شده بهتر از میانگین داده‌های مشاهداتی است و در صورتی که منفی باشد نشان می‌دهد که خروجی مدل با ماهیت سیستم متناظر نیست (۱۷،۱۹). پایین‌ترین مقدار قابل قبول NS، ۰/۵ است و هرچه که مقدار NS نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده‌ی بالا بودن دقت شبیه‌سازی است (۲۰). همچنین هرچه مقدار مجذور میانگین مربعات خطا کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر بوده و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود. خطای کل[1] در حجم جریان بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده بیش‌تر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (۸).

معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا

این معیار جدیدترین معیار ارزیابی برای مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد. گوپتا و همکاران (۱۳) ضمن معرفی این شاخص به مقایسه و بررسی مزیت‌های آن با معیار معروف ناش- ساتکلیف پرداخته‌اند. این معیار در سال ۲۰۱۲ توسط کلینگ و همکاران (۱۷) به‌صورت بازبینی شده (KGE') بکار گرفته شد.

$$KGE = \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (۴)$$

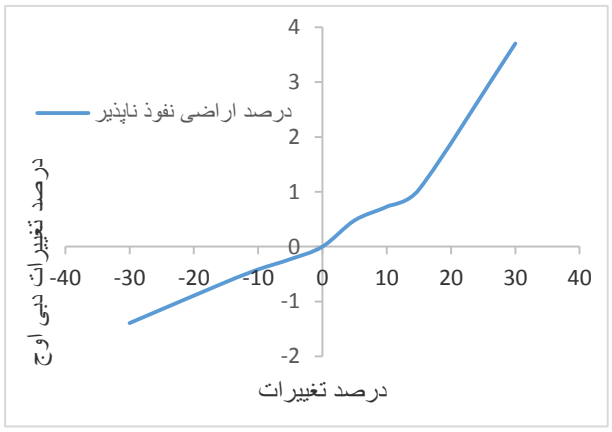
در فرمول مذکور r ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری می‌باشد. آلفا نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی به انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری است. بتا نسبت میانگین مقادیر شبیه سازی به میانگین مقادیر اندازه‌گیری (مشاهداتی) است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک می‌باشد که نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌ها می‌باشد. در معیار بازبینی شده کلینگ-گوپتا بجای آلفا از گاما استفاده می‌شود که نسبت ضریب تغییرات مقادیر شبیه سازی به ضریب تغییرات مقادیر مشاهداتی می‌باشد (۱۷).

نتایج و بحث

با توجه به رشد سریع شهرها در ایران، مشکلاتی از جمله آبگرفتگی معابر سطح شهر و انتشار آلودگی‌های زیست محیطی به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها از معضلات اساسی بسیاری از حوزه‌های شهری به شمار می‌آیند. به دلیل وجود پیچیدگی‌های زیاد در فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب شهری، استفاده از مدل‌های کامپیوتری بسیار مؤثر خواهد بود (۱۶). در این تحقیق از مدل SWMM جهت شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد و تعیین پارامترهای موثر در رواناب شهری استفاده شد از چهار واقعه بارندگی برای واسنجی مدل و از دو واقعه برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده قابلیت و توانایی مدل SWMM در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب است. با انجام آنالیز حساسیت مشخص می‌شود چقدر مقادیر خروجی مدل به‌وسیله تغییرات در مقادیر ورودی مدل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بعبارت دیگر آنالیز حساسیت روشی است برای نشان دادن اینکه کدام یک از پارامترها تأثیر بیشتری بر نتایج اعمال می‌کند، برای انجام آنالیز حساسیت از بارش طراحی یک ساعته (با توجه به زمان تمرکز اندازه‌گیری شده که یک ساعت است) با دوره بازگشت ۲۵ سال استفاده شد. همچنین به منظور آنالیز حساسیت مدل از هشت پارامتر مهم استفاده شد. جمعاً ۶۴ بار مدل اجرا شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل در شکل‌های (۳) تا (۸) نشان داده شده است. تغییرات ضریب زبری در مناطق نفوذپذیر و ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذپذیر روی دبی اوج تأثیر معنی‌داری نشان نداد.

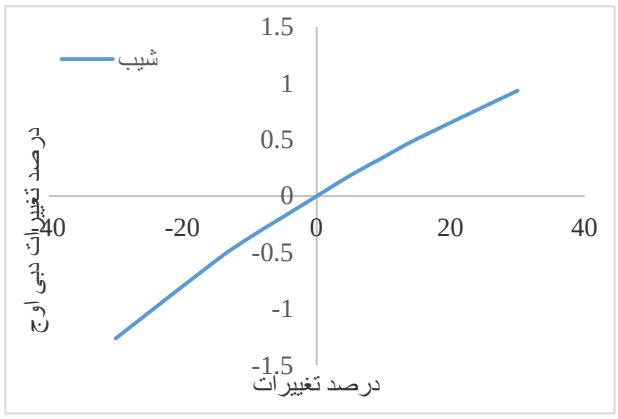
1- BIAS

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]



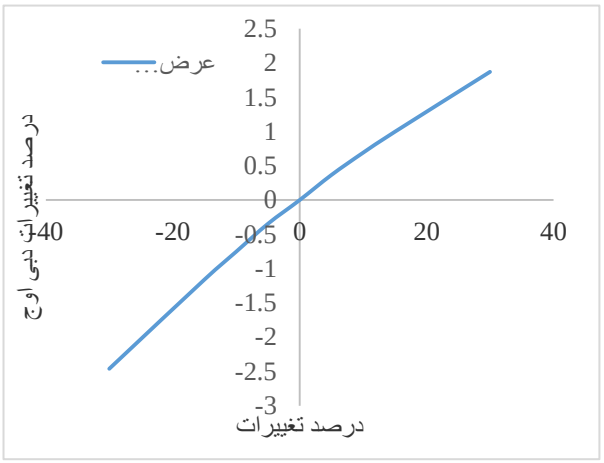
شکل ۳- درصد تغییرات اراضی نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 3. The Efective of the Iimpermeable surfaces Variation Precentage on the Peak flow



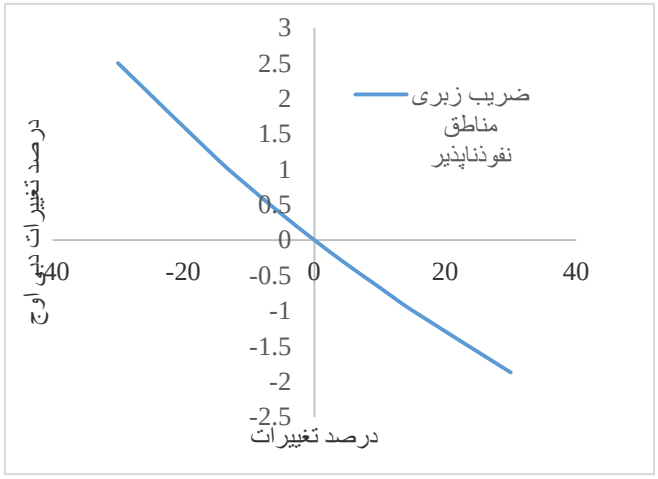
شکل ۴- درصد تغییرات شیب و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 4. The Efective of the SlopeVariation Precentage on the Peak flow



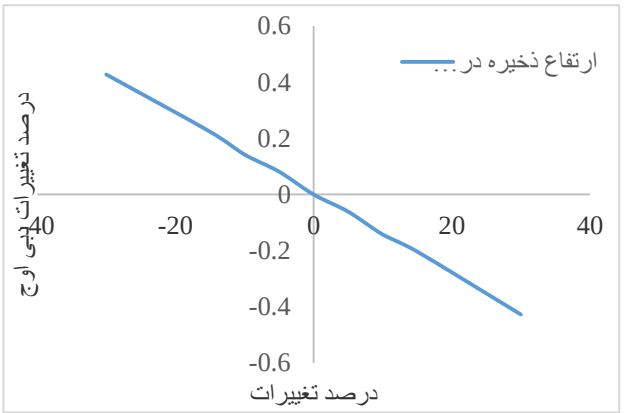
شکل ۵- درصد تغییرات عرض معادل و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 5. The Efective of theEquivalent width Variation Precentage on the Peak flow



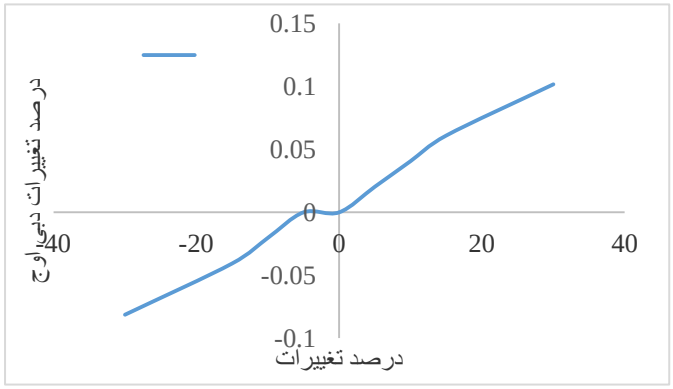
شکل ۶- درصد تغییرات ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 6. The Efective of theManning roughness coefficient Variation Precentage on the Peak flow



شکل ۷- درصد تغییرات ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 7. The Efective of the height of storage in impermeable areas Variation Precentage on the Peak flow



شکل ۸- درصد تغییرات مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Figure 8. The Efective of theimpermeable areas without surface storageVariation Precentage on the Peak flow

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

با توجه به اشکال (۳) تا (۸) و نتایج به دست آمده مشخص است از بین ۸ پارامتر استفاده شده بیشترین تأثیر را درصد مناطق نفوذناپذیر بر میزان دبی اوج منطقه شهری دارد بعد از این بترتیب پارامتر ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، شیب، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی در رتبه بعدی قرار داشته‌اند، که مطابق با یافته‌های شهبازی و همکاران (۲۱) می‌باشد. احمدیان (۱) با استفاده از مدل SWMM در منطقه هشتگرد جدید به بررسی هشت پارامتر (درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر، شیب زیرحوزه و درصد مناطق بدون ذخیره سطحی) پرداختند و بیان داشتند، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، شیب زیرحوزه و درصد مناطق نفوذ ناپذیر به ترتیب بیشترین تأثیر را در تغییر دبی اوج داشته‌اند. در صورتی که در مطالعه حاضر همانطور که بیان گردید ترتیب حساسیت پارامترها متفاوت است و همچنین شیب جزء پارامتر کم حساس محسوب می‌شوند این نتیجه را می‌توان به ویژگی‌های فیزیکی دو منطقه مورد مطالعه نسبت داد. نتایج آماری حاصل از فرآیند واسنجی مدل SWMM در جدول (۳) و نتایج حاصل از اعتبار سنجی مدل در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج واسنجی مدل SWMM

Table 3. The SWMM Model Calibration Results

تاریخ بارندگی	معیار Nash	RMSE	BIAS %	KGE
۱۳۹۳/۱۰/۲۰	۰/۸۵	۰/۶	−۱۶/۷۳	۰/۷۶
۱۳۹۳/۱۱/۲۶	۰/۸۷	۰/۶۵	۸/۵۶	۰/۸۵
۱۳۹۳/۱۲/۲	۰/۸	۰/۵۸	−۲۵/۵	۰/۷۶
۱۳۹۳/۱۲/۱۵	۰/۶۳	۰/۹۱	−۱۲/۵	۰/۶۱

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل SWMM

Table 4. The SWMM Model Evaluation Results

تاریخ بارندگی	معیارNash	RMSE	BIAS %	KGE
۱۳۹۴/۱/۷	۰/۶	۰/۶۱	۲۱/۶۵	۰/۷۷
۱۳۹۴/۱/۱۱	۰/۶۱	۱/۱۴	۱۲/۴۳	۰/۷۴

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی در وقایع بررسی شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. که مقدار NS برای وقایع بیشتر از ۰/۵ می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل SWMM جدول (۴) کارایی و دقت مدل را با مقدار NS بالاتر از ۰/۵ تایید می‌کند. همچنین مقادیر RMSE برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به ترتیب برابر ۰/۶، ۰/۶۵، ۰/۵۸ و ۸۰/۹۱ و ۰/۶۱ و ۱/۱۴ و مقدار ضریب کلینگ گوپتا برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۸۵، ۰/۷۶ و ۰/۶۱ و ۰/۷۷ و ۰/۷۴ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است و همچنین نشان می دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه سازی رواناب سطحی را دارا می‌باشد که با یافته‌های بدیعی‌زاده و همکاران (۴) که از مدل مذکور در شبیه‌سازی رواناب شهر گرگان استفاده کردند و به نتیجه رسیدند مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارا میباشد و همچنین با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۶)، در شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری بابلسر که به نتیجه رسیدند شبیه‌سازی آبگرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل SWMM با آنچه که هر ساله در آنجا روی می‌دهد، موید صحت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد، مطابقت دارد. به طور کلی نتایج حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل نشان داد که شبیه‌سازی شش واقعه بررسی شده انطباق خوبی دارد که میانگین مقدار ضریب ناش- ساتکلیف و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا به ترتیب برای وقایع مورد بررسی حدود ۰/۷۲ و ۰/۷۵ می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را تایید می‌کند که مقدار معیارهای مذکور بالاتر از ۰/۵ اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای واقعه‌های موجود برابر ۰/۷۴ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است. در نتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد و این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این باشد که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود که با یافته‌های کریمی و همکاران و بدیعی‌زاده و همکاران (۵،۱۶) مطابقت دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

منابع

1. Ahmadian, M. 2012. Evaluation of urban runoff by SWMM model to reduce flood Hazard (Hashgrd New Town). Master's thesis, Islamic Azad University Science and Research, Tehran, Iran, 150 pp (In Persian).
2. Ainluo, F. 2014. The effect of land use changes and urban development on runoff (Case Study: Zanjan City). Master's thesis, Natural Resources Department, Tehran University, Tehran, Iran, 180 pp (In Persian).
3. Akart, J. 2005. Applications of Gvatrnry Geological. Department of publications (SID), First Edition, Tehran, 466 pp (In Persian).
4. Badeiizadeh, S., A.R. Bahremand, A.A. Dehghani and N. Nora. 2015. Surface runoff simulation through Urban flood management to Use SWMM model in Gorgan City, Golestan province, Journal of Soil and Water Conservation, twenty-second volume, the fourth number, 1-16 pp (In Persian).
5. Badeiizadeh, S., A.R. Bahremand, A.A. Dehghani and N. Nora. 2016. Calibration and Evaluation of the SWMM Hydrologic-Hydraulic Model to Runoff Simulate (Case Study: Gorgan). Journal of Watershed Management Research, 17(14): 1-10 (In Persian).
6. Chen, J.A.A., L.D Hill and A. Urbano. 2009. GIS-based model for urban flood inundation: Journal of Hydrology, 373: 184-192.
7. Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and S.M. Cuddy. 2005. IHACRES User Guide.
8. 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). Environ Earth Science, 59: 465-472.
9. Fewtrell, T.J., A. Duncan, C.C. Sampson, J.C. Neal and P.D. Bates. 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LIDAR data Original .Research Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36(7-8): 281-291.
10. Ghahrodi Tali, M. 2012.The Lout plain railway lines vulnerability of in againest the flood. Journal of geography and environmental hazards, 1(2): 1-18 (In Persian).
11. Ghasemi, S. and M. Maghrebi. 2015. Delay Ponds as solution for development and urban Sustainable management. Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems, 3(6): 14-1 (In Persian).
12. Gironas, J., L.A. Roesner, L.A. Rossman and j. Davis. 2010. A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM). Environmental Modelling and Software, 25: 813-814.
13. Gupta. H.V., H. Kling, K. Koray, Y. Guillermo and F. Martinez. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology, 377(1-2): 80-91.
14. Hosein zadeh, S.R. and M. Jahadi Toroughi. 2007. The Mashhad city development effects of natural drainage pattern and urban flooding intensify. Journal of Geographic studies, 61: 145-159 (In Persian).
15. Huber, W.C. and R.E. Dickinson. 1992. Storm water management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia.
16. Karimi, V.A., K. Solimani, M. Habibnejad Roshan and K. Shahedi. 2015. Simulation of Flow in Open & Closed Conduits by EPA-SWMM Model (Case Study: Babolsar Urban Watershed). Journal of Watershed Management, 11: 162-170 (In Persian).
17. Kling, H., M. Fuchs and M. Paulin. 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. Journal of Hydrology, 424-425(6): 264-277.
18. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting though conceptual models. Part 1-A discussion of principles. Journal of. Hydrology, 10: 282-290. Technical Report, 2005/19.
19. Safari, A. and F. Sasanpor. 2011. Urban areas vulnerability assessment against flood hazard to using GIS and fuzzy logic (Case Study: Tehran3 Zone). Journal of Geographical Sciences Applied Research, 11(20): 129-150 (In Persian).
20. Shahbazi, A. 2012. Urban runoff management to reduce Hazard by SWMM Model. Master's thesis, Department of Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran (In Persian).
21. Shahbazi, A., Sh. Khalighi Sigarodi, A. Malkian and A. Salagagheh. 2013. Input parameters sensitivity analysis of SWMM Urban Ronof management Model (Case Study: City Mahdasht) Journal of Research and development.Journals, 30(1): 67-75 (In Persian).
22. Santhi, C., J.G. Arnold, J.R. Williams. W.A. Dugas, R. Srinivasan and L.M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. J Am Water Resources Association, 37: 1169-1188.
23. Sourisseau, S.A., S.F. Basser and T. Perie. 2007. Calibration, validation and sensitivity analysis of an ecosystem model applied to artificial streams. Water Research, 42(4-5): 1167-1181.
24. 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(1): 55-63.
25. Tingsanchali, T. 2012. Urban flood disaster management Sciverse Science Direct. Procedia Engineering, 32(2012): 25-37.
26. Tsihrintzis, V. and R. Hamid. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. Hydrol Process, 12(2): 311-329.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]

Determination of the Most Important Parameters Affecting the Urban Runoff using SWMM Model (Case Study: Mashhad City, District 9)

Fatemeh Rezayi[1], Abdolreza Bahremand[2], Vahed Berdi Shaikh[2], Mohammad Taghi Dasturani[3] and Seyyed Mohmmad Tajbakhsh[4]

1- Ph.D. Student, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
(Corresponding author: frezayi25@yahoo.com)
2- Associate Professor, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Professor, Ferdowsi University of Mashhad
4- Assistant Professor, Birjand University
Received: February 5, 2017 Accepted: November 29, 2017

Abstract

Due to the rapid urbanization in Iran, different issues have emerged in its major cities such as street flooding, dispersal of dangerous chemicals and flood-related risks due to the lack of a proper drainage network and disorders in the flood channels; and, Mashhad is not exempt from these issues. The aim of this study is to determine the most important parameters affecting (area of impermeable surfaces has the highest impact, followed by the Manning roughness coefficient in permeable areas, the equivalent width, slope, height of storage in impermeable areas, and impermeable areas without surface storage) runoff generation in District 9 of Mashhad city and to evaluate the performance of the SWMM model. The SWMM model was used to simulate runoff and identify critical areas. In order to determine the duration of the design storm, time of concentration was measured and used as a surrogate. Sensitivity analysis showed that among the eight considered parameters, area of impermeable surfaces has the highest impact, followed by the Manning roughness coefficient in permeable areas, the equivalent width, slope, height of storage in impermeable areas, and impermeable areas without surface storage. The model calibration results showed a good agreement between the simulations of the four incidents with a NS higher than 0.5. The obtained NS confirms the SWMM model's performance and accuracy. The RMSE was measured 0.6, 0.65, 0.58 and 0.91 respectively for the incidents dated 2015/1/10, 2015/2/15, 2015/2/21 and 2015/3/6, as well as 0.61 and 1.14 for the incidents dated 1394/1/7 and 1394/1/11, which suggest an acceptable model performance. Given the results, there is a good agreement between the simulated and actual runoff volumes which is an indication of the good performance of the SWMM model in predicting urban flood and the model could then be used in urban flood management projects and drainage network planning in Mashhad.

Keywords: Urban runoff, SWMM model, Sensitivity analysis, Calibration, Validation, Time of Concentrati

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.11.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.135]