



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

فاطمه رضایی<sup>۱</sup>، عبدالرضا بهره‌مند<sup>۲</sup>، واحد بردی شیخ<sup>۳</sup>، محمد تقی دستورانی<sup>۴</sup> و سیدمحمد تاج بخش<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترا آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسؤول): frezayi25@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد دانشگاه فردوسی مشهد

۴-

استادیار دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۸

### چکیده

با توجه به رشد سریع شهرسازی و شهرنشینی در ایران، مشکلاتی از جمله آب گرفتگی 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 قاتنه مستثنی نبوده است. هدف از انجام تحقیق حاضر تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار (درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، شبیه‌سازی رواناب و مشخص کردن نقاط حساس به آب گرفتگی از مدل SWMM می‌باشد. در تحقیق حاضر برای شبیه‌سازی رواناب استفاده گردید. برای تعیین زمان تداوم و گبار طراحی، زمان تمرکز حوزه با مساحت ۴۱/۷۴ 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 به ترتیب پارامتر ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، شبیه‌سازی رواناب و مشخص کردن نقاط نفوذناپذیر و مناطق نفوذناپذیر و طراحی شبکه زهکشی در رتبه بعدی قرار داشته‌اند. نتایج حاصل از واستنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی چهار واقعه بررسی شده انتطبق خوبی دارد که مقدار NS برای وقایع بیشتر از 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 واستنجی و ارزیابی مدل SWMM به ترتیب برابر ۶/۶۵، ۰/۵۸، ۰/۵۸ و ۰/۶۱ و ۰/۹۱ و ۰/۱۴ شد، که نشان دهنده نتایج قابل قبول مدل است. در نتیجه می‌توان گفت انتطبق 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 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

در شرایطی که میزان بارندگی و رواناب حاصله بیش از طرفیت 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 طرفیت 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 هیدرولوژیکی 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<sup>۱</sup> یکی از مدل‌های است که دقت قابل قبولی دارد و طی چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۲۱، ۲۲). 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 پس از خسارت 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 بعضًا تابستانه است که فرست 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 رسیک 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).

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.

فیوتوتل (۱۹) افزایش حجم و آبدی رواناب شهری خطر آبگرفتگی و غرقاب شدن معابر و اماكن عمومی و خصوصی را بیشتر می‌کند و جاری شدن باران در سطح اراضی شهری علاوه بر مشکلات ترد و ترافیک، مسئله آلوگی 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 سیالاب گرفتگی شهری استر 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 تاکیری بر کاهش رواناب پرداختند نتایج نشان داد، استفاده از حوضچه‌های تاکیری، در منطقه مورد مطالعه آب و برق مشهد با وجود مساحت محدود کارگشا بوده و موجب کاهش دبی اوج هیدروگراف، افزایش رخداد زمان پیک سیالاب و در نتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیالاب می‌گردد. به همین منظور در طی دو مرحله مدل سازی، جانمایی برای دو و سه مکان مناسب جهت احداث حوضچه‌های کنترل سیالاب 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. بدیعی زاده و همکاران (۵) به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی شهر گرگان از مدل هیدرولوژی-هیدرولوکی SWMM استفاده کردند به منظور واسنجی مدل از چهار واقعه بارندگی استفاده شد و سرعت رواناب حاصل از هر واقعه بارندگی در خروجی زیرخوزه‌ها اندازه‌گیری شد همچنین معنی داری و عدم معنی داری 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 انتباقي 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 متمرک 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

نخستین مدل جامع برای بررسی رواناب شهری و یکی از پیشرفته‌ترین مدل‌های رایانه‌ای در این زمینه به حساب می‌آید که حاصل پژوهش بخش متابع آب از آذانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۱</sup> می‌باشد استفاده از این مدل از سال ۱۹۷۱ شروع شده و پس از آن چندین بار بصورت کامل اصلاح شده است. این مدل به طور گستره‌ای جهت برنامه‌بریزی، 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 به صورت مداوم کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی نماید (۱۲). مدل SWMM در موارد زیادی به کار گرفته شده است که در این جایه برخی از آنها اشاره می‌شود.

شهبازی و همکاران (۲۱)، طی انجام تحقیقی در ماهدشت کرج به بررسی میزان تأثیر ۱۰ پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر، شبیه، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و نفوذناپذیر، زمان تمرکز، شماره منحنی (CN)، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی با استفاده از مدل SWMM در ایجاد سیالاب شهری پرداختند. در نتیجه بیان داشتند که مهم‌ترین عامل در ایجاد سیالاب شهری افزایش اراضی نفوذناپذیر بوده و کم تأثیرترین پارامتر مربوط به ارتفاع ذخیره نفوذناپذیر است. عینلو (۲) طی مطالعه‌ای در شهر زنجان بیان داشتند که درستی و تطبیق شبیه‌سازی‌های مدل SWMM بر اساس وقایع بارش - رواناب مشاهداتی مورد تائید است. کریمی و همکاران (۱۶) در تحقیقی از مدل SWMM برای شبیه‌سازی سیالاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری کمی سیالاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری با بلسر استفاده کردند، نتایج شبیه‌سازی کمی سیالاب نشان داد که از کل ۲۵۹ گره موجود در شبکه مجاري زیرزمینی و سطحی ۳۲، ۵۷ و ۶۰ گره به ترتیب در دوره بازگشتهای ۲، ۵ و ۱۰ سال دچار سیالاب شدن 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 مقاطع مجاري آبرو و همچنین شبکه مک 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 در آنچاروی می‌دهد، مovid صحبت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد.

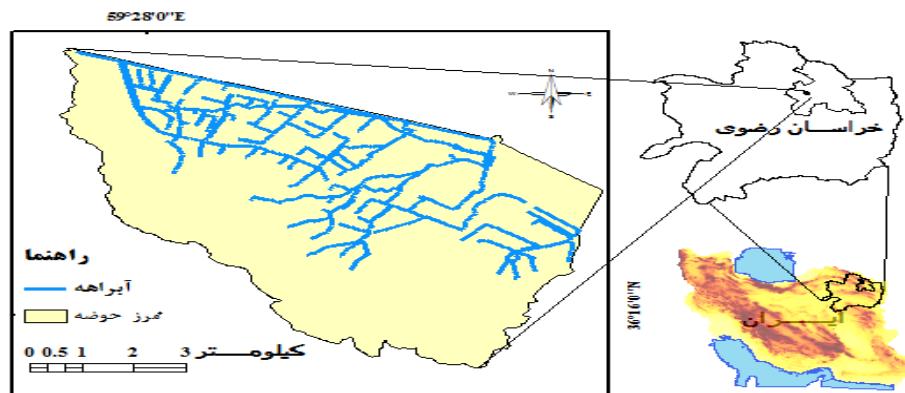
چن و همکاران (۶) در مناطق با شرایط توپوگرافی مختلف بمنظور کاهش دادن زمان پیش‌بینی سیالاب، مدل‌های دوبعدی که در برنامه‌ی کامپیوتری C++ انجام می‌شود را با برنامه‌ی یک بعدی SWMM ترکیب کرده و از نتایج آن در جهت طراحی سیستم‌های زهکشی شهری استفاده نمودند. این ترکیب، ظرفیت بالایی را در شرایطی که جریان‌های متنوعی در دشت‌های سیلابی واقعی اتفاق می‌افتد

## مواد و روش‌ها

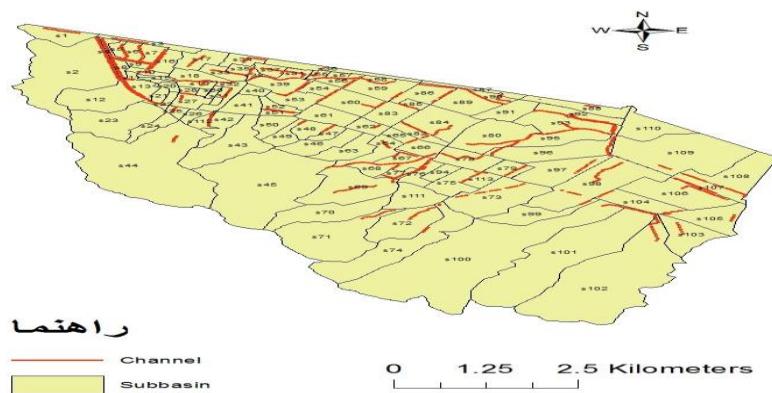
### منطقه مورد مطالعه

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 توپ و در جنوب به ارتفاعات بینالود متنه‌ی 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 شبیب نسبتاً تنیدی 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.

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 شبیب‌دار پای کوه ضمن آسیب‌پذیری بیشتر شهر در برابر سیلاب‌های دوره‌ای، بر حجم سیلاب حاصل از سطوح مذکور نیز افزوده است. از این‌و تحقیق حاضر، در منطقه ۹ شهرداری مشهد به دلایلی از جمله ۱- حساسیت به سیل خیزی از سمت حوزه‌های بالا- ۲- دارای سابقه سیل خیزی کمتر از ۴۰ سال و ۳- داشتن کanal‌های تقریباً 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.



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 کanal‌ها  
Figure 2. Map of Sub Catchment Border and Coudntuit of Study Area

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 کanal‌ها و جوی‌های آب)، زیرحوزه‌ها تعیین گردید. مساحت، عرض معادل زیر حوزه‌ها و شبیب 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.

**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 می‌باشد.

تعیین مرز حوزه و واحدهای هیدرولوژیک شهری: برای تعیین مرز واحدهای هیدرولوژیک شهری از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، نقشه مسیر کanal‌ها، مسیلهای

## 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 نفوذپذیر
۱S	۴۱/۲۳	۲۰۷۶	۵/۸۸	۲۰
۱S	۹/۸۵	۴۰/۵۷	۴	۹۰
۱۰S	۴۸۰/۴	۴۱۲۵	۱۹/۵۴	۳۰
۱۰S	۳۵/۱	۳۱۲۵	۱۵/۱۲	۳۰
۱۰S	۲۸۰/۴	۲۲۵۴	۱۹/۷۱	۱۵
۱۰S	۶۷/۶۶	۲۸۵/۹	۷/۱۲	۵۰
۱۰S	۴۵/۹۸	۲۱۵/۹	۳/۲۸	۹۰
۱۰S	۶۲/۱۱	۳۶	۳/۸۳	۷۰
۱۰S	۹۴/۶	۵۵۹/۸	۳/۲۷	۹۰
۱۰S	۲۷/۴۴	۹۴/۲۳	۳/۴	۹۰
۱۰S	۷۵/۷۵	۳۳۸/۱	۳/۸۰	۲۰
۱۰S	۱۸۹/۸	۱۲۹۲	۲/۴۷	۲۰
۱۱S	۴۹/۹۲	۱۵/۸۳	۳/۸۹	۲۰
۱۱S	۵۵/۹۹	۲۵۲/۶	۲/۴۴	۵
۱۱S	۴۶/۳۷	۲۶/۱۴	۵/۹۱	۹۰
۱۱S	۱۲۷/۴۴	۴۶/۱۶	۴/۱	۹۰
۱۱S	۱۱۷/۴۵	۸۹/۱۲	۴/۶	۹۰
۱۲S	۸۱/۴۴	۴۹۳/۲	۱۴/۸۶	۳۰
۱۲S	۱۹/۷۸	۸۷/۶۱	۴/۶۳	۹۰
۱۴S	۴۹/۴۶	۱۴/۴۷	۵/۶۵	۱۵
۱۴S	۵/۱۸	۱۷/۹۴	۳/۲۷	۱۰
۱۶S	۲۱/۲	۹۴/۵۴	۲/۷۸	۹۰
۱۷S	۳۴/۶	۱۶۳/۶	۲/۴۶	۹۰
۱۸S	۲۲/۷۴	۱۰۰/۵	۲/۴۱	۹۰
۱۹S	۱۷/۶۲	۶۱/۱۶	۴/۰۴	۹۰

دادمه 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 نفوذپذیر
۲S	۲۲۳/۵	۲۴۱۶	۹/۴۴	۳۰
۲S	۶/۱۲	۲۸۴۴	۳/۵۶	۹۰
۲S	۲۱S	۳۷/۶۲	۴/۴۸	۹۰
۲S	۱۰/۱۴	۳۲/۳	۵/۹۵	۹۰
۲S	۱۰۰/۲	۵۹/۸	۱۷/۸	۱۵
۲S	۲۳/۸	۸۵/۹۱	۱۲/۶۵	۴۰
۲S	۸/۷۲	۴۱/۰	۳/۱	۹۰
۲S	۱۱/۲	۴۴/۹۵	۴/۰۵	۹۰
۲S	۲۰/۱۶	۱۰۰/۵	۴/۷۴	۹۰
۲S	۶/۱۷	۳۰/۴۹	۳	۹۰
۲S	۳/۷۱	۱۸/۲۶	۲/۴۴	۹۰
۳S	۱۸/۸۶	۴۹/۶	۲/۱۳	۹۰
۳S	۵/۴۸	۲۳/۰	۳/۲	۹۰
۳S	۳۱S	۳۰/۱۸	۴/۳۳	۹۰
۳S	۲۱/۷۸	۶۲/۷۲	۴/۳۹	۹۰
۳S	۱۹/۰۷	۸۴/۷۸	۲/۱۷	۹۰
۳S	۱۸/۸	۸۲/۶۴	۲/۱۲	۹۰
۳S	۷/۲۴	۴۴/۱۱	۳/۲۲	۹۰
۳S	۳۱/۳۵	۷۳/۲۱	۲/۴۴	۹۰
۳S	۱۴/۰۹	۷/۰۲۶	۲/۶۴	۹۰
۳S	۵/۳۱	۱۶/۷۹	۲/۹۳	۹۰
۳S	۳۴/۸۵	۱۶۳/۵	۴/۱۲	۹۰
۴S	۸/۲۲	۲۳/۰	۴/۱	۹۰
۴S	۱۱/۱۶	۵۵/۱۵	۳/۹۵	۹۰
۴S	۳۱/۸	۱۶۴/۵	۴/۴۸	۹۰
۴S	۳۳/۱۵	۱۰۶/۹	۷/۵	۸۰
۴S	۹۷/۹۹	۴۴۷/۴	۱۷/۸	۵۰
۴S	۳۵۹/۶	۱۹/۹	۲/۵	۳۰
۴S	۴۱۲	۲۱۵۴	۲۰/۰۵	۳۰
۴S	۴۳/۹۹	۱۸۲/۲	۱۷/۵۴	۵۰
۴S	۱۳/۹۶	۶۱/۷۳	۱۰/۷۷	۶۵
۴S	۲۲/۳۳	۱۱۳/۲	۸/۱۸	۶۵
۴S	۲۲/۳۳	۹۱/۰۶	۲۰/۸۵	۵۰
۴S	۹/۷۷	۳۹/۱۳	۲/۹۲	۹۰
۴S	۴۹/۸۳	۱۲	۱۰/۴۸	۸۰
۴S	۱/۵۲	۳۵/۸۹	۴/۲۲	۹۰

ادامه جدول ۱ - مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها  
Continue Table 1. The parameters Calculated values of Sub Catchment

درصد مناطق نفوذناپذیر	شیب (%)	عرض معادل (m)	مساحت (ha)	زیر حوزه
۹۰	۴/۲۸	۵۳/۲۹	۱۳/۷۳	۵۷S
۹۰	۳/۸۲	۱۴۲/۵	۳۰/۹۹	۵۷S
۹۰	۳/۱۲	۹۰/۲۲	۱۸/۴۵	۵۴S
۹۰	۳/۱	۳۱/۸۹	۶/۷۹	۵۵S
۹۰	۲/۴۲	۵۵/۶۶	۱۲/۱۵	۵۵S
۹۰	۲/۱	۳۴/۴۳	۸/۳	۵۸S
۹۰	۲/۱۶	۳۴/۵۷	۷/۴۹	۵۸S
۹۰	۳/۴	۲۱۷/۱	۴۴/۲	۵۸S
۹۰	۱/۸۱	۶۳/۹۴	۱۴/۱۴	۶S
۹۰	۳/۸۳	۲۷۵/۱	۴۸/۰۲	۶-S
۹۰	۴/۴۱	۱۹۹/۴	۳۷/۵۴	۶۱S
۹۰	۲/۹۸	۱۰۲/۴	۲۰/۲	۶۲S
۷۰	۱۱/۶۱	۱۷۹/۷	۴۱/۴۹	۶۳S
۶۰	۶/۵۱	۱۲۵/۲	۳۵/۶	۶۴S
۹۰	۳/۹۲	۶۱/۸۹	۱۳/۰۷	۶۵S
۹۰	۴/۴۵	۱۳۳/۹	۲۵/۰۳	۶۶S
۹۰	۳/۴۸	۷۴/۹۲	۱۷/۲۷	۶۷S
۹۰	۵/۹۴	۱۱۷/۲	۳۱/۵۷	۶۸S
۹۰	۸/۴۲	۷۷۹	۱۱۲/۹	۶۹S
۹۰	۲/۰۵	۷۷/۴۴	۱۶/۱۹	۷S
۱۵	۱۸/۲	۳۷۸/۲	۸۷/۷۹	۷-S
۱۵	۲۸/۱۴	۱۴۲۵	۱۵۹/۴	۷۱S
۴۰	۱۱/۳۹	۴۸۵/۲	۷۹/۱۷	۷۲S
۱۵	۱۱/۸۵	۸۰۴/۶	۱۰/۹۹	۷۳S
۱۵	۳۷/۳۵	۵۷۸/۵	۱۵۷/۴	۷۴S
۹۰	۴/۵۷	۱۷۶/۸	۳۹/۵	۷۵S
۹۰	۴/۴۳	۷۸/۰۹	۲۱/۸۲	۷۶S
۹۰	۵/۱۲۳	۴۵/۴۶	۱۱/۵۷	۷۷S
۹۰	۳/۵۱	۲۴۲/۳	۴۵/۵۸	۷۸S
۹۰	۳/۳۷	۱۲۰/۳	۲۲/۷	۷۹S
۹۰	۳/۶۱	۳۶/۱۷	۹/۶۵	۸S
۶۰	۳/۷۵	۵۶۲/۲	۸۶/۸۷	۸-S
۹۰	۳/۵۳	۵۸/۰۳	۱۲/۶	۸۱S
۹۰	۳/۱۶	۸۰/۰۴	۲۰/۴۵	۸۲S
۹۰	۳/۱۸	۲۰/۱۱	۳۶/۲۶	۸۳S
۹۰	۳/۷۶	۴۱۸	۷۱/۳۷	۸۴S

ادامه جدول ۱ - مقادیر محاسبه شده پارامترهای زیر حوزه‌ها  
Continue Table 1. The parameters Calculated values of Sub Catchment

درصد مناطق نفوذناپذیر	شیب (%)	عرض معادل (m)	مساحت (ha)	زیر حوزه
۹۰	۲/۸	۴۱/۱۵	۸/۳۲	۸۵S
۹۰	۳/۶۶	۱۷۵/۷	۳۶/۷۶	۸۶S
۹۰	۲/۳۸	۳۴	۱۴/۷۴	۸۷S
۹۰	۲/۲۶	۱۳۵/۷	۳۹/۲۵	۸۸S
۹۰	۳/۱۱	۲۸۳/۸	۴۹/۹	۸۹S
۹۰	۱/۸۵	۳۰/۳۴	۷/۹	۹S
۹۰	۲/۹۲	۴۶/۱۸	۱۲/۳	۹۰S
۹۰	۳/۰۲	۱۸۹/۲	۳۷/۴۴	۹۱S
۹۰	۳/۲۵	۱۰۰/۱	۲۸/۴۲	۹۲S
۶۰	۲/۰۸	۳۰	۶۴/۸۱	۹۳S
۹۰	۴/۴۷	۷۷۲۵	۱۵/۴۴	۹۴S
۵۵	۳/۲	۲۲۰/۷	۴۸/۳۵	۹۵S
۵۰	۳/۶۱	۴۱۳/۶	۸۷/۵۱	۹۶S
۹۰	۴/۵۷	۳۶۶/۹	۷۳/۶۸	۹۷S
۷۰	۶/۵۸	۸۲۱/۳	۱۴۳/۲	۹۸S
۵	۱۵/۷۸	۱۸۲/۴	۵۲/۳۷	۹۹S

مورد استفاده مدل هستند. در این مطالعه شش واقعه رگباری برای ارزیابی و واستنجی 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 نفوذناپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، شبکه سطحی و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، دبی اوج سیالاب که مؤثرترین پارامتر برآورده سیالاب 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 (۱) هر کدام از هشت پارامتر مطرح شده در تمام زیر حوزه‌ها به مقدار  $\pm 5$ ،  $\pm 10$ ،  $\pm 15$  و  $\pm 20$  درصد از مقادیر اولیه کاهش و افزایش داده خواهد شد و با تغییر مقدار هر پارامتر مدل اجرا و تاثیر آن‌ها بر دبی اوج سیالاب خروجی حوزه اندازه‌گیری می‌شود.

**واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM:** از چهار واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۱۵، ۱۳۹۳/۱۲/۲، ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ و ۱۳۹۳/۱۰/۲۰ برای واستنجی مدل استفاده شد و از دو واقعه ۱۳۹۴/۱/۷ و ۱۳۹۴/۱/۱۱ برای ارزیابی مدل استفاده شد. قابل ذکر است، از آنجا که هیچگونه ایستگاه اندازه‌گیری هیدرومتری جهت اندازه‌گیری دبی در داخل شهر وجود نداشت، سرعت و ارتفاع رواناب متناظر با این رگبارها در کانال ۲۵۲۶ با استفاده از خطکش Rod کالیبره شده برداشت گردید. بهمنظور واستنجی و اعتبارسنجی مدل از هشت پارامتر مهم استفاده شد، پارامترهای اولیه و دامنه تغییرات آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

مقادیر ضریب زبری در مناطق نفوذناپذیر و نفوذناپذیر ذخیره سطحی در مناطق نفوذناپذیر 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 و سطح 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<sup>۱</sup> مشخص گردید.

**اطلاعات هوشنگی و هیدرولوژی:** این اطلاعات شامل مقادیر بارش (تک واقعه یا پیوسته)، تبخیر ماهانه، سرعت بادوههمچنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعه رگباری برخی از اطلاعات فوق الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند، با این حال این اطلاعات با فرض واقعه رگباری و به 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 برآورده رواناب در مدل SWMM و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری بر اساس مقادیر بارش می‌باشد بنابراین این اطلاعات از مهم‌ترین و اساسی‌ترین اطلاعات

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	درصد مناطق نفوذناپذیر	ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر	عرض معادل (متر)	شیب (%)	دامنه تغییرات مجاز	منبع	مقادیر اولیه	دامنه تغییرات
	-	-	-	-	$\pm 30$	Temprano et al (24)	-	$\pm 30$
	-	-	-	-	$\pm 30$	Temprano et al (24)	-	$\pm 30$
	-	-	-	-	$\pm 30$	Temprano et al (24)	-	$\pm 30$
	$\pm 0.013$	$\pm 0.011-0.033$	$\pm 0.013$	$\pm 0.05$	$0.011-0.033$	Huber and Dickinson (15)	$0.013$	$0.011-0.033$
	$\pm 0.05$	$\pm 0.02-0.08$	$\pm 0.05$	$\pm 0.08$	$0.02-0.08$	Huber and Dickinson (15)	$0.05$	$0.02-0.08$
	$\pm 1/778$	$\pm 0.3-2/5$	$\pm 1/778$	$\pm 2/5$	$0.3-2/5$	Huber and Dickinson (15)	$1/778$	$0.3-2/5$
	$\pm 2/81$	$\pm 2/5-5/1$	$\pm 2/81$	$\pm 5/1$	$2/5-5/1$	Tsihrintzis and Hamid (26)	$2/81$	$2/5-5/1$
	$\pm 16$	$\pm 5-20$	$\pm 16$	$\pm 20$	$5-20$	Huber and Dickinson (15)	$16$	$5-20$

تئییه 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 واستنجی 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<sup>۲</sup> و مجدد میانگین مربعات خطأ<sup>۳</sup> و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا<sup>۴</sup>

بارش طرح: برای مشخص کردن بارندگی طرح لازم است در ابتدا زمان تمرکز مشخص گردد، برای محاسبه زمان تمرکز از روش صحراوی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب بالاستفاده 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 متنابع هایتوگراف‌های رگبار در دوره بازگشت ۲۵ ساله در زمان تمرکز به عنوان ورودی به مدل

1- Geographic Information System  
3- RMSE

2- Nash-Sutcliff  
4- Kling-Gupta Efficiency

$$KGE = \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (4)$$

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 شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی 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 هیدرولوگیکی سیالاب 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 به وسیله تغییرات در مقادیر ورودی مدل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. عبارت 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. جملاً ۶۴ بار مدل اجرا شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل در شکل‌های (۳) تا (۸) نشان داده شده است. تغییرات ضریب زیری در مناطق نفوذپذیر و ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذپذیر روی دی اوج تأثیر معنی‌داری نشان نداد.

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

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

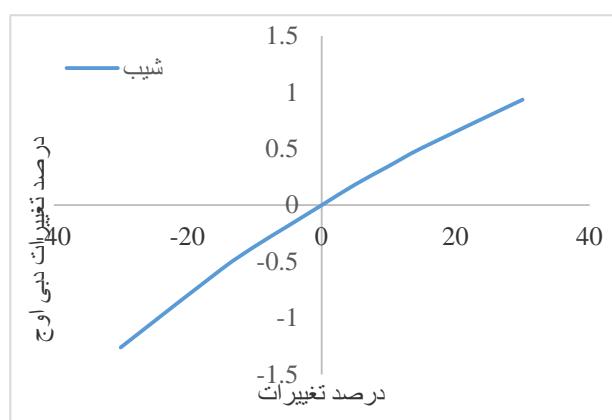
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2} \quad (2)$$

$$BIAS \% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (3)$$

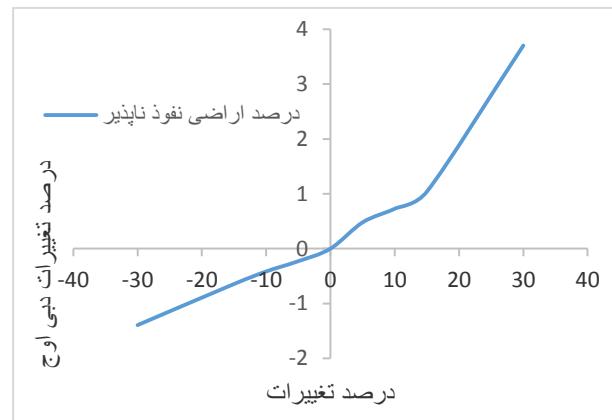
در اینجا  $Q_{sim}$ : دبی شبیه‌سازی شده و  $Q_{obs}$ : دبی مشاهداتی در زمان  $t_{ai}$ ،  $Q_{av}$ : میانگین دبی مشاهداتی و  $n$ : تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. در صورتی که مقدار NS مثبت باشد نشان‌دهنده این است که داده‌های شبیه‌سازی 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  $NS = 0/5$  است و هرچه که مقدار NS نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت شبیه‌سازی است (۲۰). همچنین هرچه مقدار محدود میانگین مربعات خطای کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های مشاهداتی و برآورد شده کمتر بوده و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود. خطای کل<sup>۱</sup> 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

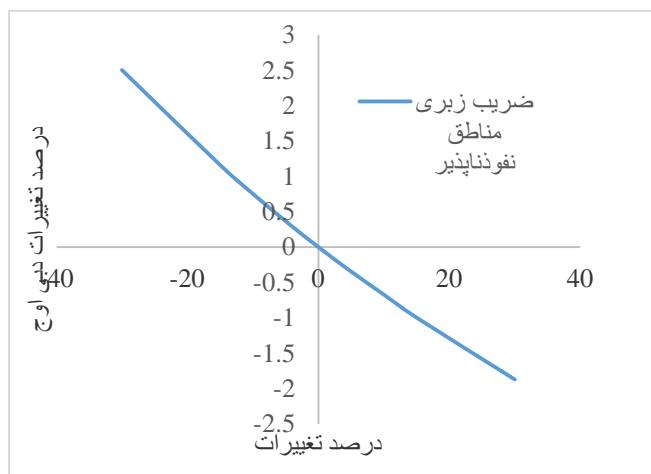
این معیار جدیدترین معیار ارزیابی برای مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد. گوپتا و همکاران (۱۳) ضمن معرفی این شاخص به مقایسه و بررسی مزیت‌های آن با معیار معروف ناش- ساتکلیف پرداخته‌اند. این معیار در سال ۲۰۱۲ توسط کلینگ و همکاران (۱۷) به صورت بازبینی شده ('KGE') بکار گرفته شد.



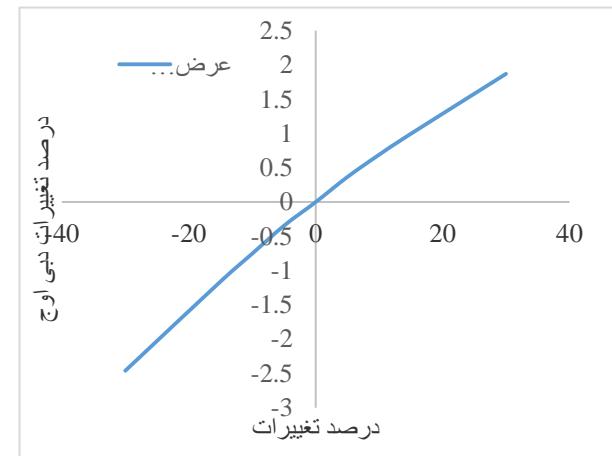
شکل ۴- درصد تغییرات شیب و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد  
Figure 4. The Efective of the SlopeVariation Precentage on the Peak flow



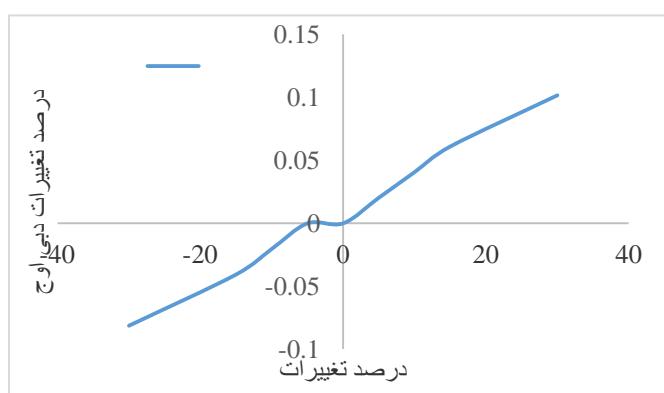
شکل ۳- درصد تغییرات اراضی نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب  
درصد  
Figure 3. The Efective of the Impermeable surfaces Variation Precentage on the Peak flow



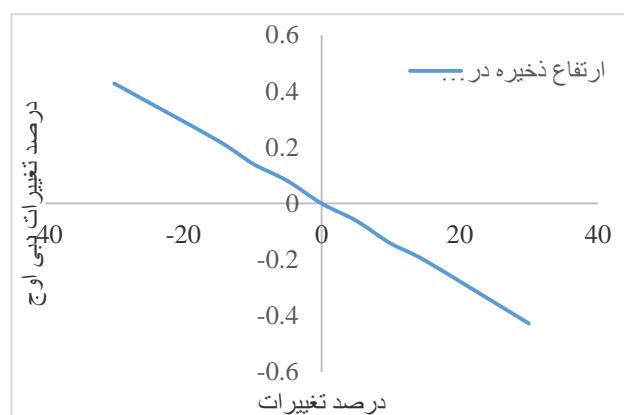
شکل ۶- درصد تغییرات ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی  
اوج بر حسب درصد  
Figure 6. The Efective of theManning roughness coefficient Variation Precentage on the Peak flow



شکل ۵- درصد تغییرات عرض ممادل و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد  
Figure 5. The Efective oftheEquivalent width 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 storage 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

نفوذپذیر، شبیب زیرحوزه و درصد مناطق بدون ذخیره سطحی) پرداختند و بیان داشتند، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، شبیب 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 شبیب 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.

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، شبیب، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی در رتبه بعدی قرار داشته‌اند، که مطابق با یافته‌های شهری 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

جدول ۳- نتایج واسنجی مدل SWMM

Table 3. The SWMM Model Calibration Results

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

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل SWMM

Table 4. The SWMM Model Evaluation Results

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

SWMM با آنچه که هر ساله در آجها 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 انتطاق خوبی دارد که میانگین مقدار ضریب ناش- ساتکلیف و معیار ارزیابی کلینگ- گوپتا به ترتیب برای واقعی 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 مجنون میانگین مربعات خطای برای واقعه‌های موجود برابر ۰/۷۴ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است. در نتیجه می‌توان گفت انتطاق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهدهای وجود دارد و این می‌تواند نشان‌دهنده 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.

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی در واقعی بررسی شده انتطاق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. که مقدار NS برای واقعی 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 واقعی شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی SWMM به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۵۸، ۰/۶۱ و ۰/۹۱ و ۰/۶۱ و ۰/۱۴ و مقدار ضریب کلینگ- گوپتا برای واقعی شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۸۵، ۰/۶۱ و ۰/۷۷ و ۰/۷۴ و ۰/۷۷ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است و همچنین نشان می‌دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه‌سازی 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 سیلان ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری باللسرا که به نتیجه رسیدند شبیه‌سازی آبگرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل

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 Gvatnry Geological. Department of publications (SID), First Edition, Tehran, 466 pp (In Persian).
4. Badeizadeh, 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. Badeizadeh, 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 againtest the flood. Journal of geography and environmental hazards, 1(2): 1-18 (In Persian).
11. Ghasemi, S. and M. Maghrebi. 2015. Delav 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. Bassar 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. Tsirhntzis, V. and R. Hamid. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. Hydrol Process, 12(2): 311-329.

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

Fatemeh Rezayi<sup>1</sup>, Abdolreza Bahremand<sup>2</sup>, Vahed Berdi Shaikh<sup>2</sup>, Mohammad Taghi Dasturani<sup>3</sup> and Seyed Mohammad Tajbakhsh<sup>4</sup>

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