Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

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

سال چهاردهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۳۹۹

Vol. 14, No. 50, Fall 2020

ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و خسارت محتمل وضع موجود شبکه دفع آب‌های سطحی منطقه ۲ تهران با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWMM

سونیا صادقی[۱]،جمال محمد ولی سامانی[۲] و حسین محمد ولی سامانی[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۱/۰۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۱۷

چکیده

تحلیل آب‌گرفتگی معابر شهری به کمک مدل‌سازی و ارزیابی خسارات ناشی از آب‌گرفتگی، گامی مؤثر در جهت کاهش خسارات ناشی از اجرای نادرست شبکه دفع آب‌های سطحی است. در مقاله حاضر با به کارگیری مدل SWMM و با دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰و ۵۰ ساله با دو روش مدل موج دینامیک و روش استدلالی به ارزیابی کارایی شبکه زهکشی سطحی بخشی از منطقه ۲ شهر تهران و میزان خسارت حاصل از رواناب پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای دوره‌های برگشت ۵ سال به بالا در مجاری سیلاب‌رو و گره‌های شبکه زهکشی پرشدگی و سیلاب وجود دارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که مقادیر دبی سیلاب از روش استدلالی بسیار بیشتر از روش موج دینامیک می‌باشد و این اختلاف ناشی از ساختار دو روش می‌باشد. هم‌چنین ارزیابی خسارت نشان داد که میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۳۰ هکتار برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به ترتیب ۷۰، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ می‌باشد و با روش موج دینامیک ۱۰۰،۱۲۰،۱۴۰ و ۱۶۰ می‌باشد. لذا با توجه به خسارت وارده می‌توان نتیجه گرفت که شبکه موجود در جمع‌آوری رواناب حاصل از بارش‌ها کارایی لازم را ندارد.

کلیدواژه‌ها: *شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، مدل SWMM، خسارت سیلاب، روش استدلالی، روندیابی موج دینامیک.*

مقدمه

افزایش سطوح نفوذناپذیر به صورت قابل توجهی هیدرولوژی پیش از توسعه شهرها را تغییر داده و حداکثر جریان و حجم رواناب سطحی در محیط‌های شهری در مقایسه با محیط‌های توسعه نیافته طبیعی افزایش می‌یابد [۴]. سیل زدگی شهر ها دونوع متفاوت است، در نوع اول رودخانه یا زهکش اصلی شهر طغیان کرده، لبریز شده و اراضی مجاور را غرقاب می کند. نوع دوم بر اثر لبریز شدن شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی، هنگام رگبارهای شدید رخ می‌دهد علت بروز این وضعیت، کمبود ظرفیت شبکه برای دفع حداکثر آبدهی لحظه‌ای سیلاب است که در اغلب موارد گرفتگی دهانه‌های ورودی مجاری سیلابرو آن را تشدید می‌نماید [۱۷]. اجرای شبکه دفع آب‌های سطحی یکی از راه‌های مؤثر برای مدیریت منابع آب است. از آنجا که سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی هنوز به عنوان مسئله مهمی در طراحی بافت شهری در نظر گرفته نشده و مشکلات ناشی از آن به وضوح در سطح شهرها دیده می‌شود، با این اوصاف به نظر می‌رسد، شهر تهران، نیازمند بررسی پتانسیل موجود جهت ارزیابی و ارتقا کارایی شبکه زهکشی موجود جهت تخلیه رواناب شهری می‌باشد. در مقاله حاضر با انتخاب بخشی از منطقه ۲ شهر تهران سعی می‌گردد که مدل بارش- رواناب با استفاده از مدل SWMM تحلیل گردد. در این تحقیق از دو روش موجود در مدل SWMM شامل روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی برای روندیابی جریان استفاده گردیده است. سپس به ارزیابی شبکه موجود منطقه مطالعاتی پرداخته و میزان خسارت حاصل از رواناب سطحی را برآورد می‌نماید. هم‌چنین مقایسه‌ای بین روش روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی در محاسبه دبی اوج سیلاب انجام می‌شود. مدل SWMM و برآورد رواناب حاصل از بارش توسط آن در تحقیقات مختلفی به کار گرفته شده است. از جمله در مطالعه‌ای، تحلیل عدم قطعیت عمق آب در مجاری شبکه های زهکشی توسط مدل ریاضی مذکور را انجام دادند؛ نتایج نشان داد پارامترهای مربوط به زیر حوضه ها و بارندگی، بیشترین تاثیر را بر دبی پیک سیل و عدم قطعیت آن دارد [۲۰]. شهبازی [۹] از این مدل برای مدیریت رواناب شهری به منظور کاهش خطرات آبگرفتگی در شهر ماهدشت استفاده کرد. میکوویت و همکاران [۹]، در بررسی اثر توسعه شهری بر منابع آبی با مدل SWMM، دریافتند افزایش مؤثر سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش دو برابری حجم سیلاب می‌شود.شین و همکاران [۱۵]، تحقیقی در ارتباط با بکارگیری روش توسعه کم اثر با مدل

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۲-نویسنده مسئول و استاد گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.پست الکترونیک: J_Samani2003@yahoo.com
۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز.

www.SID.ir

Archive of SID

SWMM در کره انجام دادند که اثر آن در کنترل سیلاب و کاهش آلودگی، در نتایج گویا بود. در تحقیقی حوزه آبخیز شهرمریوان را با استفاده از مدل SWMM مورد شبیه‌سازی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از نرم‌افزار مذکور می‌توان اقدام به محاسبه ارتفاع و حجم رواناب در زیرحوزه‌های شهری و نیز طراحی صحیح و تامین ظرفیت کافی شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی پرداخت و پیامدهای زیان‌بار حاصل از سیلاب‌های شهری را به حداقل رساند. نیک اندام و همکاران [۱۱] در تحقیق دیگری نشان دادند که با بکارگیری روش‌های توسعه کم اثر و مدل‌سازی در نرم‌افزار SWMM در منطقه مورد مطالعه خیابان ولیعصر تهران، حجم و دبی پیک کاهش یافت. بعضی از مطالعاتی که در زمینه SWMM ذکر شد، از این مدل برای برنامه‌ریزی، مدیریت رواناب شهری و افزایش سطح خدمات شهری استفاده شده است، که نتایج نشان‌دهنده کارایی لازم مدل SWMM برای شبیه‌سازی رواناب در مناطق شهری است و پس از شناخت مناطق دارای آب‌گرفتگی و بروز سیلاب می‌تواند از این مدل با سطح اطمینان بالاتری برای طراحی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی و مدیریت رواناب در مناطق شهری استفاده نمود. بنابراین استفاده از این مدل مدیریت سیلاب به عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد جهت مدیریت سیلاب ارزیابی و پیشنهاد گردیده است. با توجه به بررسی منابع، تاکنون مدل‌سازی شبکه‌های دفع آب‌های سطحی با هدف تعیین خسارت ناشی از رواناب با استفاده از مدل SWMM با دو روش روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی انجام نشده است. لذا هدف از تحقیق حاضر تعیین کارایی شبکه زهکشی سطحی بخشی از منطقه شهر تهران هنگام رگبارهای سیلابی و تعیین خسارت ناشی از آن با استفاده از مدل SWMM می‌باشد.

مبانی و روش‌ها

روش تحقیق، مجموعه ای از قواعد، ابزار و راه‌های معتبر و نظام یافته برای بررسی واقعیات، کشف مجهولات و دستیابی به راه حل مشکلات است [۸]. برای مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و ارزیابی و تحلیل مدل‌سازی با توجه به سیلاب‌های طراحی نیاز به اخذ اطلاعات مورد نیاز می‌باشد. در ادامه برخی مبانی اطلاعات و تعاریف مربوط ارائه می‌گردد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده منطقه مورد مطالعه ناحیه ۳ منطقه ۲ تهران با کاربری مسکونی، راه و بزرگراه و فضای سبز می‌باشد که از شمال به بزرگراه شهید همت، از شرق به بزرگراه شهید چمران، از غرب به بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری و از جنوب به خیابان ستارخان محصور است. مساحت کل محدوده منطقه مورد مطالعه ۲۳۰ هکتار می‌باشد. اراضی این ناحیه عموما مسکونی بوده و در برخی مناطق دارای فضای سبز، فضاهای عمومی و غیره می‌باشد. مسیل‌های درکه و فرحزاد و سیل برگردان غرب سطح زیادی از منطقه را به خود اختصاص داده است.

معرفی مدل SWMM

مدل ریاضی SWMM با مشارکت شرکت مهندسی متکالف و ادی ودانشگاه فلوریدا برای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده و به منظور شبیه‌سازی پدیده‌های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب‌روهای مختلط، طی سالهای ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ تهیه گردید. داده‌های مورد نیاز بسیار گسترده و مشتمل است بر داده‌های فیزیوگرافیکی زیرحوضه‌ها، مشخصات مربوط به سازه‌های سیستم، اطلاعات مربوط به نگهداری سیستم شدت آبدهی در دوره خشک، وضعیت تخلیه‌گاه‌ها، آمار و اطلاعات مربوط به بارندگی، هیدروگراف‌های سیلاب‌ها و وضعیت کیفی جریان در سیلاب‌روهای مختلط. مدل مدیریت رواناب سطحی یک مدل دینامیک شبیه‌سازی بارش–رواناب بوده و می‌تواند برای یک واقعه و یا بصورت مداوم (تک واقعه و پیوسته) ، کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی نماید و هم‌چنین قابلیت ترکیب با سایر مدل‌ها برای ارائه نتایج در حوزه‌های آبخیز را دارد. از آنجایی که این مدل بطور گسترده‌ای برای طراحی، آنالیز و برآورد هزینه احداث سیستم شبکه زهکشی در مناطق شهری بکار گرفته می‌شود، در این مطالعه از این مدل هیدرولوژیکی–هیدرولیکی استفاده گردید. این مدل یک واقعه رگبار را بر اساس هایتوگراف بارندگی، داده‌های ورودی هواشناسی، سیستم حوضه و شبکه زهکشی جهت تولید هیدروگراف خروجی، شبیه‌سازی می‌کند [۱۶]. پس از آن هیدروگراف ناشی از بارندگی بر سطح زیر حوضه‌ها را تعیین نموده و آن را با استفاده از معادلات پیوستگی و مانینگ، در زیر حوضه‌های کوچک و کانال‌ها، روندیابی می‌کند. روند یابی جریان در یک آبگذر در SWMM با استفاده از معادله ممنتم و قانون بقای جرم می‌باشد. برای حل این معادلات کاربرSWMM می‌تواند از سه روش جریان ماندگار، روندیابی موج دینامیکی و موج سینماتیکی استفاده نمایند. هم‌چنین در مدل مذکور با اعمال تغییراتی می‌توان با روش استدلالی نیز رواناب را محاسبه کرد. در تحقیق حاضر از دو روش روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی برای برآورد رواناب استفاده شده است. معادلات سنت‌ونانت(روابط(۱) و(۲)) مستخرج از معادلات بقای جرم و مومنتم است که مدل‌سازی هیدرولیک جریان در مجاری روباز و لوله‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد:

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0$$ (۱)پیوستگی

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial(\frac{Q^2}{A})}{\partial x}+gA\frac{\partial H}{\partial x}+gAS_f+gAH_L=0$$ (۲)مومنتوم

که در روابط فوق، x فاصله از ابتدای مجرا، A سطح مقطع جریان، Q دبی، t زمان شبیه‌سازی، H بار آبی در مجرا، S_f شیب اصطکاکی، h_L افت موضعی انرژی در واحد طول و g شتاب ثقل می‌باشد.

بایستی توجه داشت که برای یک سطح مقطع هندسی معلومA بصورت تابع مشخصی ازعمق y می‌باشد که می‌توان آن را از بار آبی H بدست آورد. پس متغیر وابسته در این معادله دبی جریان Q و بار آبی است که تابعی از فاصله x و زمان t می باشد. حل معادلات سنت

www.SID.ir

Archive of SID

ونانت در یک مجرای مستقل، به شرایط اولیه H و Q در زمان صفر و شرایط مرزی x=0 و x=L برای تمام زمان ها نیاز دارد.

روندیابی موج دینامیک

روند یابی موج دینامیکی، معادلات کامل جریان یک بعدی سنت ونان را حل می‌کند و در نتیجه نتایج تئوریکی بسیار دقیقی را ایجاد م نماید . این روش برای انتخاب در سیستم‌هایی مناسب است که به دلیل محدودیت‌های جریان پایین‌دست با تأثیرات قابل توجه برگشت آب مواجه هستند. هر کدام از این روش‌های روندیابی معادله مانینگ را برای ارتباط میزان جریان با عمق جریان و شیب بستر به کار گرفته‌اند [۱۴].

روش استدلالی

یکی از روابط متداول برای محاسبه دبی حداکثر سیلاب در حوزه‌های آبخیز کوچک، روش استدلالی است. روش مذکور بر این اساس استوار است که در یک حوزه آبخیز ، حداکثر دبی از باران‌هایی که مدت ریزش آن‌ها برابر زمان تمرکز است حاصل می‌شودحداکثر دبی سیلاب در یک حوضه با استفاده از رابطه(۳)بدست می‌آید [۱].

$$Q = \frac{1}{\propto} CIA \qquad (۳)$$

که در رابطه فوق Q دبی پیک بر حسب(m^3/s)، i شدت بارش بر حسب(mm/hr)، C: ضریب رواناب(بدون بعد) که تابعی از پوشش و خصوصیات فیزیکی حوضه است، A: مساحت حوضه بر حسب هکتار و a: ضریب ثابت که مقدار آن در سیستم SI برابر ۳۶۰ است.

داده‌های مورد نیاز مدل SWMM

ورودی‌های مورد نیاز مدل خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها، مشخصات شبکه زهکشی و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشند.

خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها: جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب لازم است تا یک سری پارامترهای زیرحوضه‌ها به عنوان ورودی به مدل اعمال شود. این پارامترها شامل عرض معادل، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری و ذخیره سطحی مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد.

تعیین زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی: در این مطالعه برای تعیین زیرحوضه‌ها از نقشه کاربری اراضی و بررسی راجع به نحوه جمع‌آوری آب‌های سطحی و شیب‌بندی خیابان‌ها و کوچه‌ها مرز زیرحوضه‌ها تعیین گردید که به ۹۲ زیرحوضه تقسیم شد.

اطلاعات مجاری سیستم زهکشی: خصوصیات مجاری مانند طول آبرو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف و سطح مقطع از سازمان‌های مسئول و ذیربط شامل شهرداری، سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران اخذ گردید.

روش کار

در این مرحله حوضه‌بندی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS صورت گرفت. بر این اساس منطقه به ۹۲ زیرحوضه تقسیم گردید و با استفاده از امکانات GIS و هم‌چنین راهنمای نرم‌افزار SWMM مشخصات هریک از زیر حوضه‌ها تعیین شد. این مشخصات شامل عرض معادل، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مانینگ روی سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر و ذخیره سطحی مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر نیز می‌باشد. سپس زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه به محیط نرم‌افزار SWMM منتقل گردید و فرآیندهای مربوطه شامل طراحی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی موجود شامل کانال‌های روباز و گره‌های آن صورت گرفت. شبکه فوق شامل ۱۸۱ گره و ۱۵۵ کانال می‌باشد. در مرحله بعد مشخصات گره‌ها و مجاری سیلاب‌روی بین آن‌ها شامل طول کانال، نوع مقطع، شیب، ضریب زبری،رقوم ارتفاعی گره‌ها در وضعیت موجود استخراج شد و به مدل اضافه گردید.

معادله نفوذ

در مدل ریاضی SWMM از ۳ معادله نفوذ شامل معادلات نفوذ هورتن، گرین آمپت و عدد منحنی CN استفاده می‌گردد. تعیین میزان نفوذ در این تحقیق با استفاده از معادله نفوذ هورتن در نظر گرفته شد. پارامترهای معادله نفوذ هورتن با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری خاک منطقه و جداول مربوط از راهنمای نرم‌افزار SWMM بدست می‌آیند.

محاسبه مقادیر بارش

از آن جا که برآورد رواناب در مدل SWMM و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری براساس مقادیر بارش می‌باشد، بنابراین این اطلاعات از مهم‌ترین و اساسی‌ترین اطلاعات مورد استفاده مدل هستند. تاکنون منابع مختلفی منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی را برای شهر تهران ارائه کردند. از جمله گیب و همکاران در جریان مطالعات طرح جامع آب‌های سطحی شهر تهران، یک رابطه عمومی برای شدت بارش‌ها به صورت رابطه(۴) ارائه کردند [۱۸]. با توجه به ملاحظات شهری منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی هیدرولیکی رواناب در مدل براساس بارش با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال و باتوجه به رابطه (۴) انجام شد.

$$i = CD^{-0.645} \qquad (۴)$$

i: شدت بارش(میلیمتر بر ساعت)

D : تداوم بارندگی(دقیقه)

C: ضریب معادله که بر اساس دوره بازگشت طراحی و ارتفاع متوسط حوضه تعیین می‌شود.

پس از تهیه مدل با شرایط ذکر شده در وضع موجود برای محاسبه رواناب حاصل از بارش طراحی از روش‌های استدلالی و روش روندیابی موج دینامیک از طریق شبیه‌سازی با مدل SWMM استفاده شد. و مدل تحت این شرایط اجرا شد.

۲-۳-۳-آنالیز حساسیت مدل

برای اطمینان از صحت عملکرد مدل لازم است تا مدل تهیه شده واسنجی و تحلیل حساسیت شود آنالیز حساسیت به عنوان روشی اساسی در نظر گرفته می‌شود که به وسیله آن تأثیر پارامترهای ورودی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات قابل قبول متغیرهای مدل SWMM

Table 1. Initial values and range of acceptable changes of SWMM model variables

Variable	Initial values	Range of permitted changes	References	Optimal values
%Zero- impervious	*-	30±	[17]	*-
Slope(%)	*-	30±	[17]	*-
Width	*-	30±	[17]	*-
N- Impervious	0.013	0.011-0.033	[17]	0.015
N- Pervious	0.05	0.02-0.8	[5]	0.1

-*پارامترهای توزیعی که برای هر زیرحوزه یک مقدار اولیه و یک مقدار بهینه شده وجود دارد.

به عنوان متغیر مستقل روی خروجی‌های مدل (متغیر وابسته) بررسی می‌گردد. در این حالت پارامترهای حساس شناخته شده و تمرکز روی این پارامترها صورت می‌گیرد و بدین ترتیب دقت نتایج افزایش یافته و باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌گردد. آنالیز حساسیت نشان می‌دهد کدام یک از پارامترها تأثیر شدیدتری بر نتایج اعمال می‌کند و رتبه‌بندی پارامترهای مدل بر اساس تأثیر آن‌ها در خروجی مدل با استفاده از این روش قابل محاسبه است. در این مطالعه حساسیت متغیرهای مؤثر بر دبی اوج سیلاب شهری با بکارگیری مدل SWMM برای محدوده مورد مطالعه، بررسی گردید به این ترتیب که برخی پارامترهای مؤثر شامل درصد مناطق نفوذپذیر، شیب، عرض معادل ، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، در دامنه تغییرات قابل قبول به مقدار ثابت کاهش و افزایش یافته و دبی اوج سیلاب به عنوان متغیر وابسته برای بررسی انتخاب شد. به این ترتیب که با کاهش و افزایش مقادیر پارامترهای مذکور به میزان مشخص، میزان دبی پیک، حجم سیلاب و زمان تا اوج سیلاب را برداشت کرده و با هم مقایسه کرده تا در نهایت ارزش پارامترهای مذکور در تبیین سناریوهای حوضه مشخص گردد.

واسنجی مدل

عموماً بدلیل اینکه ثبت دقیق سیلاب‌های شهری به علت عدم وجود ایستگاه‌های ثبت سیلاب در سطح شهر امکانپذیر نبوده است،از داده‌های بدست آمده طبق گزارشات طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی تهران [۱۸] استفاده شد. به منظور ارزیابی کارایی مدل از شاخص‌های درصد خطای نسبی(RE[1]) و میانگین مربعات خطا RMSE[2]، برپایه روابط(۵)و(۶) استفاده شد.

$$RE = \frac{Q^{obs} - Q^{sim}}{Q^{obs}} \times 100 \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q^{sim} - Q^{obs})^2} \quad (۶)$$

Q^{obs}= داده‌های مشاهداتی

Q^{sim}=داده‌های شبیه‌سازی شده

و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج

با تکمیل اطلاعات لازم، مدل برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰و۵۰ ساله اجرا شده و در هر کدام از دوره بازگشت‌ها عملکرد اتصالات و مجاری شبکه زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر دبی اوج سیلاب خروجی از زیر حوضه، عمق و حجم رواناب محاسبه گردید. روندیابی سیل در مجاری زهکشی با روش موج دینامیک و روش استدلالی انجام شد. نتایج اجرای مدل در ۵ مرحله ارزیابی شد. ابتدا نتایج آنالیز حساسیت مدل، پس از آن نتایج حاصل از واسنجی مدل انجام شد. سپس مقایسه بین روش روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی، پس از آن ارزیابی شبکه موجود و در آخر محاسبه خسارت ناشی از رواناب انجام شد.

نتایج آنالیز حساسیت مدل

در این مطالعه برای بررسی حساسیت متغیرهای مدل SWMM، از روش آنالیز حساسیت جزئی(مطلق) استفاده شد [۳]. به این ترتیب که از مقدار اولیه پارامترهای مؤثر ارائه شده در جدول(۱) با توجه به دامنه تغییرات قابل قبول، ۳۰ درصد کاهش و افزایش یافته و مدل برای آن‌ها اجرا شد [۱۹]. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل در بین متغیرهای بررسی شده در این مطالعه درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خروجی مدل داشته و به عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد. به عبارت دیگر تغییرات اندک در درصد مناطق نفوذناپذیر، باعث می‌گردد که دبی اوج سیلاب به مراتب افزایش یابد. ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و عرض معادل به ترتیب بعد از درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را در تغییرات دبی اوج داشته‌اند. گسترش شهر روی مناطق نفوذپذیر باعث افزایش درصد سطوح نفوذناپذیر و کاهش ضریب زبری در مناطق نفوذپذیر می‌شود. از آنجایی که درصد مناطق نفوذناپذیر رابطه مستقیم و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر رابطه معکوس با دبی اوج دارند می‌تواند نتیجه گرفت که گسترش شهر(افزایش سطوح نفوذناپذیر)، تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی دبی اوج سیل دارد که با یافته‌های شریفان و همکاران [۱۸] مطابقت دارد.

1. Root Error
2. Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- مقدار دبی اوج، حجم رواناب و عمق رواناب در روش‌های مختلف روندیابی

Table2. Peak flow rate, runoff volume and runoff depth in different routing methods

Variable	Routing method	Return period				
		2	5	10	20	50
Peak flow (m^3/s)	Dynamic wave	0.2	0.25	0.29	0.34	0.38
	Rational method	0.25	0.33	0.38	0.43	0.45
Runoff depth (mm)	Dynamic wave	1	22.45	28.39	34.36	42.27
	Rational method	1.2	29.12	35.64	41.88	50.02
Runoff volume (hectares - meters)	Dynamic wave	2.179	4.4	5.74	7.11	8.94
	Rational method	4	5.91	7.41	8.85	10.72

نتایج واسنجی مدل

طبق نتایج محاسبات بدست آمده براساس گزارشات طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی تهران، مقدار دبی اوج بارش ۵۰ ساله برابر ۰/۳۵ مترمکعب برثانیه بدست آمده است. مقدار مشابه برای همین بارش در مدل تهیه شده در نرم‌افزار SWMM برابر ۰/۳۸ مترمکعب بر ثانیه برای روش روندیابی موج دینامیک و برابر ۰/۴۵ مترمکعب برثانیه برای روش استدلالی بدست آمده است. بر این اساس مقدار شاخص درصد خطای نسبی(RE) برابر ۷/۸۹ درصد برای روش روندیابی موج دینامیک و مقدار ۲۲ درصد برای روش استدلالی بدست آمده است. هم‌چنین شاخص میانگین مربعات خطا نیز برای روش روندیابی موج دینامیک ۸/۶ درصد و برای روش استدلالی ۱۲/۶ درصد بدست آمده است. مقادیر بدست آمده هردو شاخص، طبق نظرات بدست آمده در منابع مختلف قابل قبول است. میزان شاخص‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که مدل عملکرد مناسبی دارد.

مقایسه روش استدلالی و روندیابی موج دینامیک

با استفاده از نرم‌افزار SWMM دبی حداکثر سیلاب با استفاده از روش استدلالی و روندیابی موج دینامیک تعیین شده است.

جدول ۲ مقدار دبی اوج، عمق رواناب و حجم رواناب را برای دوره‌های بازگشت مختلف و با روش استدلالی و روندیابی موج دینامیک نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول(۲) نشان داده شده است، دبی اوج خروجی از حوضه با روش روندیابی موج دینامیک حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد کمتر از دبی اوج خروجی با روش استدلالی است. به

دلیل ذخیره سازی و تاثیر احتمالی برگشت آب در کانال‌ها که در روش روندیابی موج دینامیک در نظر گرفته می‌شود اما در روش استدلالی در نظر گرفته نمی‌شود. شکل ۱ نیز این موضوع را نشان می‌دهد. که هیدروگراف سیلاب ۵۰ ساله را برای روش روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی و هم‌چنین هیدروگراف مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، زمان رسیدن به اوج هیدروگراف در روش روندیابی موج دینامیک بیشتر از روش استدلالی است. یعنی روش روندیابی موج دینامیک یک تاخیر زمانی در پیک جریان خروجی ایجاد می‌کند. دلیل دیگری که دبی اوج خروجی در روش استدلالی بیشتر است این است که در روش استدلالی، دبی اوج خروجی سیلاب‌های زیرحوضه در محل اتصال با یکدیگر تجمیع می‌شوند، در حالی که در روش روندیابی موج دینامیک هیدروگراف هر زیرحوزه آبخیز تا محل اتصال روندیابی می‌شوند. لذا اثر تجمیع پیک سیلاب‌ها در این روش وجود ندارد و این نکته تاثیر بسزایی در کاهش دبی خروجی به ویژه در حوزه‌های آبخیز طولانی دارد.

هم‌چنین با توجه به شکل(۱) روش روندیابی موج دینامیک نسبت به روش استدلالی انطباق بیشتری با روش مشاهده‌ای دارد، لذا می‌توان نتیجه گرفت روش روندیابی موج دینامیک از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد.

نتایج ارزیابی وضع موجود شبکه زهکشی منطقه مطالعاتی

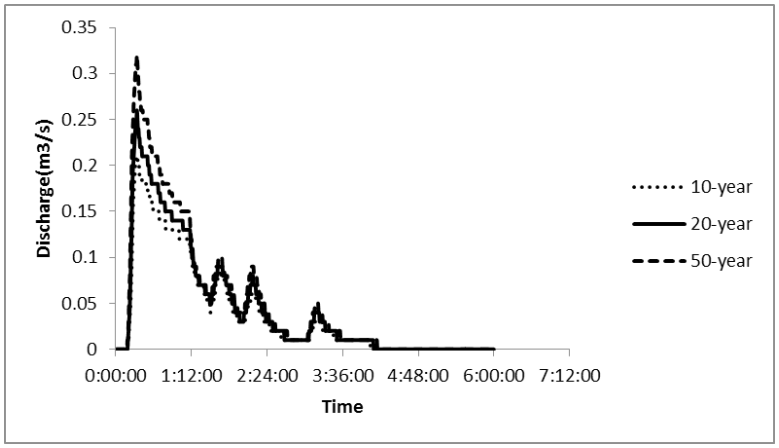
دبی اوج عبوری از مجاری، بر اساس شدت بارش‌های متفاوت مشخص و با توجه به نتایج حاصل از مدل بر اساس وجود و یا عدم وجود اضافه بار و شرایط سیلابی در محل گره‌ها و مجاری، کفایت شبکه موجود برای انتقال رواناب سطحی با دوره‌های بازگشت مختلف ارزیابی گردید. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب هیدروگراف خروجی روش‌های روندیابی موج دینامیک و روش استدلالی را برای دوره‌های برگشت مختلف نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل‌های(۱) و(۲) نشان داده شده است با افزایش دوره برگشت دبی اوج هیدروگراف خروجی از حوضه نیز افزایش می‌یابد.

هم‌چنین نتایج حاصل از اجرای مدل با روش موج دینامیک نشان می‌دهد که برای دوره برگشت ۵ ساله در ۵۲ مجاری سیلاب‌رو و ۷۹

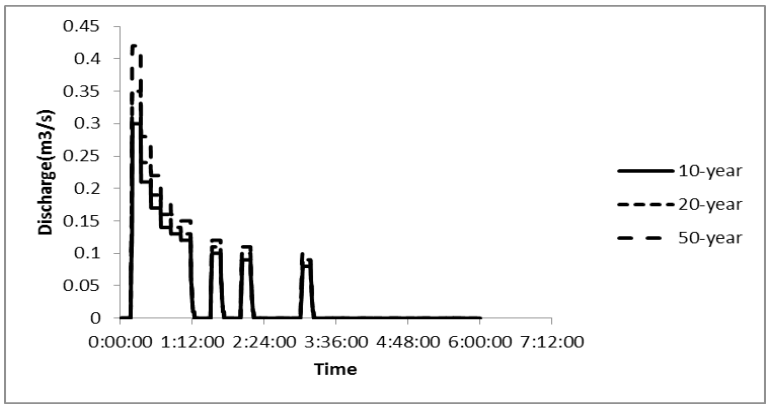
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- هیدروگراف خروجی روش روندیابی موج دینامیک

Fig1. Output hydrograph of dynamic wave routing method



شکل۲- هیدروگراف خروجی روش استدلالی

Fig2.The output hydrograph of the rational method

گره، برای دوره برگشت ۱۰ ساله ،۲۰ ساله و ۵۰ ساله در ۵۴ مجاری سیلاب‌رو و ۷۸ گره پرشدگی[1] وجود دارد که میزان پرشدگی در مجاری سیلاب‌رو و گره‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف متفاوت است. پرشدگی در یک گره یا مجرا هنگامی اتفاق میفتد که سطح آب بالاتر از حداکثر مقدار تعریف شده برای آن‌ها باشد. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که اجرای روش با شرایط وضع موجود سبب ایجاد سیلاب[2] نیز در برخی گره‌های شبکه می‌شود. لذا سیستم شبکه زهکشی سطحی کارایی خود را از دست داده و باعث ایجاد مشکل برای ساکنین می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه در سیستم شبکه جمع‌آوری رواناب پرشدگی و سیلاب گزارش شده لذا سیستم شبکه موجود برای منطقه مطالعاتی از عملکرد خوبی برخوردار نیست و باعث ایجاد رواناب در منطقه می‌شود.

محاسبه خسارت ناشی از رواناب در منطقه مطالعاتی

با توجه به عدم کفایت شبکه در منطقه مطالعاتی، بخش عمده‌ای از منطقه دچار آبگرفتگی توسط رواناب می‌شود. از جمله دیگر نتایج این تحقیق محاسبه خسارت رواناب در منطقه مطالعاتی می‌باشد که در ادامه تشریح می‌شود.

برای محاسبه خسارت روش‌های مختلفی وجود دارد. در تحقیق حاضر از محاسبه خسارت به روش آماری استفاده شده است. در این روش نمودار مقدار خسارات سیلاب‌های بوقوع پیوسته در مقابل سایر پارامترهای سیلاب از قبیل ارتفاع، دبی پیک، سال وقوع و غیره ترسیم شده، سپس از درون یابی و برون یابی منحنی حاصل، اطلاعات لازم برای سیلاب های مورد انتظار استنتاج می‌شود. بر اساس مطالعات موجود خسارت می‌تواند تابعی از پارامترهای مختلف باشد. در رابطه(۷) شرایط عمومی میزان خسارت در واحد سطح نشان داده شده است.

$$D = f(U, H, UH, T, Type, \dots) \times Value \qquad (۷)$$

در این رابطه D میزان خسارت می‌باشد که با حاصل ضرب درصد خسارت of ارزش واحد سطح Value به دست می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد خسارت تابعی است از پارامترهای هیدرولیکی مثل سرعتU، عمقH، حاصلضرب عمق در سرعتUH ، زمان آبگرفتگیT و نوع کاربریType می‌باشد. برای بدست آوردن منحنی خسارت، مقدار خسارتی که به ساختمان مسکونی و محتویات آن وارد می‌شود با هم تلفیق شده و میزان خسارت مشخص می‌شود

1. Surcharging
2. Flooding

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳- میزان خسارت پیش‌بینی شده در منطقه مطالعاتی در دوره بازگشت‌های مختلف

Table3. The amount of damage predicted in the study area in different return periods

Routing method	Return period	Runoff depth (meters)	Damage percentage	Damage (million Tomans)
Dynamic wave	2	0.001	0	0
	5	0.022	0.97	70
	10	0.028	1.24	90
	20	0.034	1.51	110
	50	0.042	1.85	140
Rational method	2	0.0012	0	0
	5	0.029	1.28	100
	10	0.036	1.59	120
	20	0.042	1.85	140
	50	0.05	2.19	160

برای این منظور، خسارت مستقیم ناشی از سیل در محاسبات وارد می‌شود. در بدست آوردن این توابع، تراز کف ساختمان برابر تراز سطح زمین در نقطه وقوع ساختمان فرض شده است. از فرضیات دیگر این است که ساختمان‌ها دارای استحکام مناسبی می‌باشند و بر اثر آبگرفتگی دچار ریزش کامل نمی‌شوند.

در این روش خسارت وارده به ساختمان‌ها در اثر سیل گرفتگی شامل آسیب‌های وارده به اندود دیواره‌ها و کف ساختمان می‌باشد که به صورت هزینه تعمیر و بازسازی آن در نظر گرفته می‌شود. این روش توسط ملک محمدی [۸] به کار گرفته شده است. درمورد تحقیق حاضر نیز از همین نتایج با انجام اصلاحات مربوط به ارزش زمین و ساختمان استفاده شده است.

برای بدست آوردن خسارت در ترازهای مورد نظر در این تحقیق از روش درون‌یابی در اکسل استفاده شد. بدین صورت که با توجه به نمودار تراز- خسارت ارائه شده توسط ملک محمدی، در نرم‌افزار اکسل با برازش دادن منحنی مناسب با آن معادله منحنی حاصل بدست می‌آید. سپس با توجه به معادله حاصل از منحنی، در ترازهای مورد نظر درصد خسارت بدست می‌آید.

خسارت‌های سازه‌ای که به اماکن مسکونی و اداری وارد می‌شود صرفا هزینه‌های ساخت و ساز را پوشش می‌دهد و بدین منظور قیمت زمین که بخش قابل توجهی از قیمت ساختمان را تشکیل می‌دهد در محاسبات خسارت از قیمت تمام شده بنا کسر شده است و سعی شده است صرفا هزینه‌های ساخت مورد توجه قرار گیرد. با توجه به رابطه(۷) برای محاسبه خسارت، ارزش اقتصادی ساختمان‌ها و درصد خسارت سیلاب باید مشخص گردد. نحوه محاسبه درصد خسارت سیلاب توضیح داده شد. که براساس عمق رواناب و منحنی ارائه شده توسط ملک محمدی می‌توان درصد خسارت وارده به ساختمان‌ها را بدست آورد. ارزش اقتصادی ساختمان‌ها در تحقیق حاضر ۷۵۰ میلیون تومان در نظر گرفته شد که این رقم از طریق بنگاه‌های مسکن در منطقه مطالعاتی به عنوان هزینه ساخت بدست آمده است.

لذا با توجه به اطلاعات فوق خسارت ناشی از رواناب در کل منطقه مطالعاتی که ۲۳۰ هکتار می‌باشد محاسبه شد. جدول ۳ خلاصه نتایج ارزیابی خسارت وارده در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که برای دوره بازگشت ۲ ساله رواناب حاصل از بارندگی خسارتی ایجاد نمی‌کند. اما با افزایش دوره بازگشت و به تبع آن افزایش عمق رواناب، خسارت وارده به ساختمان‌ها افزایش می‌یابد. و این نشان دهنده عدم کفایت شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی موجود در منطقه می‌باشد. لذا با توجه به عدم کارایی شبکه موجود و ایجاد خسارت در منطقه باید تمهیداتی اتخاذ شود که خسارات حاصل از رواناب سطحی در منطقه را کاهش داد. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، طراحی شبکه دفع آب‌های سطحی است که از کفایت و کارایی کافی برای جمع‌آوری رواناب سطحی را داشته باشد.

بحث ونتیجه‌گیری

از آن جایی که توسعه در مناطق شهری امری اجتناب ناپذیر می‌باشد، لذا شناخت روند حرکت جریان سیلاب به منظور مدیریت منابع آب و ایجاد تغییرات لازم در طراحی سیستم زهکشی ضروری می‌باشد. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل SWMM و محاسبه رواناب حاصل از بارش‌هایی با دوره برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله با روش مدل موج دینامیک و روش استدلالی در راستای ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی بخشی از منطقه ۲ شهر تهران و محاسبه خسارت ناشی از رواناب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده در این مطالعه و تراز سطح آب در مقاطع نشان دادکه منطقه مطالعاتی از لحاظ خطر سیل‌گرفتگی و کارایی شبکه زهکشی تقریبا در شرایط نامساعدی قرار دارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد که برای دوره‌های برگشت ۵ سال

www.SID.ir

Archive of SID

به بالا در مجاری سیلاب‌رو و گره‌های شبکه زهکشی پرشدگی و سیلاب وجود دارد. که نشان دهنده عدم کارایی شبکه موجود در جمع‌آوری رواناب حاصل از بارش‌ها می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که مدل موج دینامیک به دلیل در نظر گرفتن تاثیرات برگشت آب و دخیره‌سازی، هیدروگراف رواناب دقیق‌تری تولید می‌کند و در محاسبه رواناب عملکرد بهتری از روش استدلالی دارد. اما به طور کلی طراحی بر اساس روش استدلالی برآورد بیشتری نشان می‌دهد. نتایج حاصل از فرآیند واسنجی نیز نشان می‌دهد مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و دبی اوج سیلاب‌ها دارد. مقدار پایین شاخص RMSE تأییدی بر قابل پذیرش بودن شکل کلی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل است. هم‌چنین با توجه به نتایج واسنجی و مقدار RMSE روش روندیابی موج دینامیک به نتایج مشاهداتی نزدیک‌تر بوده لذا دقت بالاتری دارد. هم‌چنین ارزیابی میزان خسارت نشان داد که میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به ترتیب ۷، ۹، ۱۱ و ۱۴ میلیون تومان با روش روندیابی موج دینامیک و ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ میلیون تومان با روش استدلالی می‌باشد. لذا با توجه به عدم کارایی شبکه موجود و ایجاد خسارت در منطقه باید تمهیدات مدیریتی متناسب اتخاذ شود که خسارات حاصل از رواناب سطحی در منطقه را کاهش یا مورد توجه در برآوردهای مالی قرار داد. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، طراحی شبکه دفع آب‌های سطحی است که از کفایت و کارایی کافی برای جمع‌آوری رواناب سطحی را داشته باشد. با استفاده از مدل SWMM یا مدل های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرایی و به ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می تواند جزء راه کارهای ممکن به منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ عرصه های طبیعی قلمداد گردد.

منابع

1. Alizade, A.(2011). Principles of Applied Hydrology, Astan Ghods Razavi Publications.(In Persian).

2. Alibakhshi, SH.Fazl Ola,R.Ziatabar,M.(2006). Flood Management in Urban Basins Using Computer Simulation (Case Study: Tehran District 22). Second Water Resources Management Conference, Isfahan University of Technology, 9 p.(In Persian).

3.Badieezade, S.Bahremand, A.Dehghani, A.(2015). Urban Flood Management by Surface Runoff Simulation Using SWMM Model in Gorgan, Golestan Province, Journal of Water and Soil Protection Research, Volume 22, Number 4, pp. 169-155

4.Coffman, L., and Rushton, B. (2005). Bioretention applications, United States Environmental Protection Agency.

5. Huber, W.C. and R.E. Dickinson. 1992. Storm water management model user's manual. version4. Environmental Protection Agency Georgia. 268 pp.

6. Jang,S. Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. and Aksoy, H., 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. Desalination, 212(1), pp.344-356.

7. Jaf,L,(2014). Flood Damage Assessment Using HEC FDA Software In Khansar Watershed. Master thesis. Department of Natural Resources.(In Persion).

8. Khaki,GH,(1999). Research Method with Theses Approach, First Edition, Kouhsar Publications.(In Persian).

9. Mikovit C. Rauch, W. and Kleidorfer, M., 2014. Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. Procedia Engineering, 70, pp.1147-1156.

10. Malekmohamadi, B.2000. Providing a suitable method for determining flood insurance rates in urban areas, M.Sc., Sharif University of Technology,(in persian).

11.Nikandam,M.Kavianpor,M.Porhasan,M.Jalalvandi, M(2013). Evaluation of eco-friendly system in surface water collection network using SWMM5 model Case study of Vali-e-Asr Tehran, 7th National Congress of Civil Engineering, Zahedan, Sistan and Baluchestan University.(In Persian).

12. Nikandam, M.Kavianpor, M.Porhasan, M.Jalalvandi ,M(2012). Investigation of environmentally friendly surface water collection system and its modeling using SWMM model. Ninth International Seminar on River Engineering. Chamran martyr of Ahwaz University.

13.Park,S Y. Lee, K. W., Park, I. H., & Ha, S. R. (2008). Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation. Desalination, 226(1-3), 328-337.

14.Rossman,L. , 2016. Storm Water Management Model Reference Manual Volume 1 - Hydrology -Revised, EPA No. 600/R-15/162A.:(235 pp)

15.Shin, D. S., Park, J. B., Kang, D. K., & Jo, D. J. (2013). An analysis of runoff mitigation effect using SWMM-LID model for frequently inundated basin. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 13(4), 303-309.

16.Sin, J., Jun, C., Zhu, J. H., & Yoo, C. 2014. Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (Low Impact

www.SID.ir

Archive of SID

Development) based on the decrease in CN: case studies from Gimcheon Pyeonghwa district, Korea. Procedia Engineering, 70, 1531-1538.

17.Sharifian, R.Roshan, A.Ojee, M.(2008). Application of SWMM Model to Design and Evaluation storm sewer networks.7th Iranian Hydraulic Conference.(In Persian).

18.Tehran Surface Water Management Comprehensive Plan. (2012). Volume 11, Summary of Studies Report, Technical and Civil Engineering Department of Tehran. 269 pages.(In Persian).

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

20.Young K. Younos, T., Dymond, R. L., and Kibler, D. F. 2009. Virginia's Stormwater Impact Evaluation: Developing an Optimization Tool for Improved Site Development, Selection and Placement of Stormwater Runoff BMPs. VWRRC SR44–2009, Virginia Tech, Blacksburg, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

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

Vol. 14, No. 50, Fall 2020

سال چهاردهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۳۹۹

Analyzing of Hydraulic Performance and Possible Damage to Existing Storm Sewer Networks Tehran Region 2 Using SWMM Model

S.Sadeghi[1], J.samani[2] and H.samani[3]

Received: 20-03-2020 Accepted:08-10-2020

Abstract

Storm sewer networks are important components of urban planning and civil engineering, and any negligence in their proper design can be a problem for human societies. Analyzing urban flooding by modeling and analyzing flood damage is an effective step to optimally manage urban transportation and reduce the damage caused by demolition of facilities. In this paper, using the SWMM model with 2, 5, 10, 20 and 50 year return periods with dynamic wave model and rational methods, the existing potential for evaluating the efficiency of surface drainage network for partial of District 2 of Tehran was investigated. After evaluating the existing storm sewer network of the mentioned area the amount of runoff damage was estimated by statistical method. The results of the modeling show that there are flooding and surcharging in the link and node of drainage network for return periods of 5 years or more. This indicates the inefficiency of the existing network in collecting runoff from rainfall. The results also showed that the values of flood discharge obtained from the rational method are much higher than the dynamic wave routing method and this difference is due to the structure of the two methods. The results of the calibration process also show that the model has an acceptable capability to simulate the overall shape of the hydrograph and flood peak discharge. Also, with respect to the calibration results and the RMSE value, the dynamic wave routing method is closer to the observed results, so it is more accurate. Damage assessment also showed that damages to buildings in the study area for return periods of 5, 10, 20 and 50 were 7, 9, 11 and 14 million, respectively, using dynamic wave routing and 10, 12 , 14 and 16 million by rational method.

Keywords: Storm sewer networks, SWMM model, Flood damage, Rational method, Dynamic wave routing

1. ph.D.Student.of water structure of Tarbiat Modares University.
2. Corresponding author and Professor of Tarbiat Modares University. Email : J_Samani2003@yahoo.com
3. Professor of Shahid Chamran University.

www.SID.ir