دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

شبیه‌سازی جریان در مجاری آبروی زیرزمینی و سطحی با مدل EPA-SWMM (مطالعه موردی: حوزه شهری بابلسر)

ولی الله کریمی[۱]، کریم سلیمانی[۲]، محمود حبیب نژاد روشن[۲] و کاکا شاهدی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: vkarimi80@hotmail.com)
۲ و ۳- استاد و استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲۶

چکیده

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 به‌شمار می‌آیند. به دلیل وجود پیچیدگی‌های زیاد درفرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب شهری، استفاده از مدل‌های کامپیوتری بسیار مؤثر خواهد بود. در این تحقیق، از مدل EPA-SWMM، برای شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری بابلسر استفاده شد. شبیه‌سازی برای رگبارهای ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و۱۰ ساله و برای مدت ۱۲ ساعت، انجام پذیرفت. نتایج شبیه‌سازی کمی سیلاب نشان می‌دهد 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. مقادیر دبی پیک محاسبه شده با فرمول منطقی برای ۱۰ نقطه در منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال با مقادیر نظیر شبیه سازی شده با مدل، بیانگر وجود همبستگی خطی معنی‌دار بین آنهاست. بررسی‌های میدانی، نقشه‌های موجود رقوم ارتفاعی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، حاکی از آن است که، علت اصلی آب گرفتگی‌ها، کوچک بودن سطح مقطع مجاری آبرو و همچنین شیب کم و معکوس در برخی نقاط شبکه بوده است. مطابقت نتایج شبیه‌سازی آبگرفتگی های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با آنچه که هر ساله در آنجا روی می‌دهد، موید صحت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی سیلاب، مدل EPA-SWMM، آب گرفتگی‌های شهری، حوزه شهری بابلسر

مقدمه

کمیت سیلاب در حوزه‌های آبریز شهری از جمله عواملی است که می‌تواند موجب بروز شرایط بحرانی به خصوص در هنگام وقوع بارندگی‌های شدید در معابر شهری شود. سیل‌گرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود. گذشته از این، سیل‌گرفتگی خیابان‌ها می‌تواند موجب کند شدن و یا توقف کامل سیستم‌های ترافیکی شود و همچنین پیامدهای غیر مستقیم از جمله قطع ارتباطات و فرصت‌های تجاری را نیز به همراه خواهد داشت.

در چنین شرایطی مدل‌های کامپیوتری از جمله ابزارهای مناسبی می‌باشند که می‌توانند به‌منظور بررسی اثرات ناشی از کمیت سیلاب شهری و شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در سیستم‌های پیچیده جمع‌آوری آب‌های سطحی به‌کار گرفته شود (۱۴).

طاهری مشهدی (۱۶)، برای ارزیابی ریسک سیلاب در منطقه لواسان استان تهران، نقشه‌های خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیل با دوره بازگشت‌های مختلف را تهیه نمود. میزان ریسک سیلاب در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته و مکان‌ها و جاده‌های امن مشخص گردید.

موسوی و قویدل‌فر (۸)، سیلاب شهری ماسال در غرب استان گیلان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در ترکیب با مدل‌های بارش-رواناب مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که ترکیب GIS با مدل‌های مختلف بارش-رواناب در طراحی شبکه سیلاب روی شهرها که به روش آزمون و خطا و برای رسیدن به آرایش و ابعاد بهینه انجام می‌گیرد، می‌تواند در کاهش زمان و هزینه بسیار مؤثر باشد.

صنعی و احمدی‌جزی (۱۱)، با اعمال روش استدلالی و روش پیشرفته SWMM[1] روی سه مسیل بزرگ شهر مشهد و بررسی نتایج حاصل، نشان دادند که به‌طورکلی مقادیر دبی سیلاب بدست آمده از روش منطقی بسیار بیشتر از روش SWMM است

1- Storm Water Management Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

و این اختلاف ناشی از ساختار دو روش می‌باشد.

علی‌بخشی (۱)، از مدل کامپیوتری MIKE-SWMM به‌عنوان یکی از قوی‌ترین مدل‌های تجاری موجود در زمینه شبیه‌سازی و مدیریت سیلاب در حوزه‌های شهری، برای بررسی میزان کفایت شبکه موجود برای عبور دادن سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال برای بخش‌هایی از سیستم شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه ۲۲ تهران استفاده نمود و مدل MIKE-SWMM را به‌عنوان ابزار مناسب و کارآمد جهت شبیه‌سازی سیلاب در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در نواحی شهری ارزیابی و برای اهداف طراحی و برنامه‌ریزی توصیه نمود.

شریفان و همکاران (۱۲)، شبیه‌سازی یکی از زیرحوزه‌های شهر شیراز با مدل SWMM را مورد بررسی قرار دادند. محاسبه سیلاب با مدل موج سینماتیک و ترکیب المان‌های جریان‌های روزمینی و کانالیزه شده و روندیابی در مجاری با مدل موج دینامیکی صورت پذیرفت. نتایج نهایی گویای ناکارآمدی سیستم موجود در بخش‌هایی از شبکه زهکشی بوده است.

رشید پور (۹) با استفاده از بسته نرم‌افزاری MIKE-SWMM به شبیه‌سازی و پیش‌بینی عمق آبگرفتگی سیلاب شهری پرداخت و بیان داشت که این مدل برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های سیلاب رو و فاضلاب مناسب است و در تحقیق خود برای شبیه‌سازی هیدرودینامیکی سیلاب ناشی از بارندگی‌های طرح از آن استفاده نمود. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب با مقادیر واقعی که از رخدادهای بارش و رواناب بدست آمده، نشان می‌دهد مدل مورد نظر توانایی خوبی در شبیه‌سازی سیلاب در حوزه شهری داشته و همچنین سیستم زهکشی موجود در بسیاری از نقاط کفایت لازم برای عبور دبی طراحی را ندارد.

چوکات و همکاران (۲) سه گروه کلی مدل‌های ریاضی جهت شبیه‌سازی رواناب شهری را در شبکه‌های دفع آب مازاد سطحی، مورد مطالعه قرار دادند. این مدل‌ها، شامل مدل‌های دینامیکی که بر اساس معادلات سنت ونانت ساخته می‌شوند، مدل‌های مفهومی که بر اساس معادله ماسکینگام بنا شده‌اند و مدل‌های بینابینی که با استفاده از تجربیات بدست آمده از مدلهای مربوط دو گروه دیگر به وجود آمدند. آنها آزمایشات زیادی را با استفاده از مدل بینابینی که تحت عنوان مدل استوک در کشور فرانسه تهیه گردید، روی شبکه‌های مختلف انجام دادند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که مدل قادر به شبیه‌سازی هیدرولیکی سیلاب شهری در زمان کمتر و با سهولت بیشتر می‌باشد. همچنین مدل توانست مکان مناسبی را در کنار مدل پیچیده دینامیکی (به‌عنوان مثال مدل MIKE SWMM) و مدل کلی مفهومی به خود اختصاص دهد.

اسمیت (۱۴)، مدل کامپیوتری MIDUSS 98 را به‌منظور شبیه‌سازی سیلاب در شبکه‌های جمع‌آوری آبهای مازاد سطحی ارائه نمود. از این مدل می‌توان برای تعیین ابعاد شبکه جمع‌آوری و تعیین ذخیره و تغذیه آب زیرزمینی در شبکه زهکشی شهری استفاده نمود.

هسو و همکاران (۴)، از ترکیب دو مدل SWMM و مدل دو بعدی پخشیدگی جریان سطحی برای شبیه‌سازی سیلاب در حوزه شهری چین تایپه استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که مدل ترکیبی، ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل سیلاب شهری ناشی از سرریز شدن آب از شبکه‌های جمع‌آوری آبهای سطحی و سیلاب ناشی از تخریب ایستگاه‌های پمپاژ می‌باشد.

زوپو (۱۷)، مدل‌های بارش‌های رگباری شهری را از هر دو جنبه کمیت و کیفیت مورد بازبینی قرار داد. او یک مرور کلی را در ارتباط با شیوه‌های مدل‌سازی بارش‌های رگباری فراهم کرد و همچنین مروری مختصر بر مفاهیم ریاضیاتی که روندیابی جریان و تولید آلودگی و انتقال آنها در اکثریت این مدل‌ها بر پایه آنها مدل‌سازی می‌شود را انجام داد. او همچنین در این مطالعه به توصیف برخی از مدل‌های بارش‌های رگباری پرداخت.

مارک و همکاران (۶)، توانایی‌ها و محدودیت‌های مدل‌سازی یک بعدی سیلاب شهری را به‌صورت موردی در شهر بانکوک تایلند مورد بررسی قرار دادند و روش‌های مدل‌سازی و اصول مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل سیلاب شهری را معرفی کردند. آنها برای مدل‌سازی سیلاب از روش مدل‌سازی هیدرودینامیک یک بعدی استفاده نمودند و برای نشان دادن محدوده گسترش سیلاب، از نقشه‌های GIS استفاده کردند.

تائه‌هو و همکاران (۱۵)، آنالیز حساسیت پارامترهایی که نتایج شبیه‌سازی حوزه‌های شهری با استفاده از مدل SWMM را در بارش‌های مختلف طرح، تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد بررسی قرار دادند. نتیجه شبیه‌سازی آنها نشان داد که در اکثر شرایط، پارامترها نسبت سطح نفوذناپذیر، شیب مجرای فاضلاب رو و ظرفیت نفوذ اولیه اثرات معنی‌داری را روی نتایج نسبت به سایر پارامترها داشته‌اند. آنها همچنین دریافتند که همراه با افزایش فراوانی باران طرح، حساسیت شیب مجاری فاضلاب و ضریب زبری آنها افزایش می‌یابد،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

در حالی‌که پارامترهای مرتبط با رواناب سطحی کاهش می‌یابد. با افزایش مدت بارندگی، حساسیت اکثر پارامترهای رواناب سطحی و دبی جریان در مجاری فاضلاب، کاهش پیدا می‌کند.

میگنات و همکاران (۷)، با استفاده از معادلات جریان کم عمق دو بعدی، سیلاب منطقه متراکم شهری نیبه در کشور فرانسه را شبیه‌سازی نمودند. ابتدا سیلاب شدید اکتبر ۱۹۸۸ را با استفاده از داده‌های رقوم ارتفاعی شبکه خیابان‌ها و مقطع عرضی‌شان و در نظر گرفتن بلوک‌های مسکونی غیر قابل نفوذ، شبیه‌سازی نمودند، سپس با واسنجی مدل بر اساس واقعه بارندگی ۱۹۸۸، سیلاب بزرگ رخ داده در سال ۲۰۰۲ را شبیه‌سازی کردند. این تحقیق نشان داد که پس از واسنجی این مدل دو بعدی، می‌توان از آن در برنامه‌ریزی کاهش زیان‌های ناشی از سیلاب‌های شهری در مناطق متراکم شهری استفاده نمود.

لندرو و همکاران (۵)، به مقایسه دو نوع از مدل‌های زهکش دوگانه سطح/ فاضلاب برای شبیه‌سازی عمق مغروق‌شدگی سیلاب شهری، یکی متشکل از مدل هیدرولیکی تک بعدی برای شبیه‌سازی سیستم سطح زمین و مدل تک بعدی هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سیستم فاضلاب زیرزمینی و دیگری یک مدل دو بعدی برای شبیه‌سازی شبکه سطح زمین و مدل یک بعدی برای شبیه‌سازی سیستم فاضلاب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های دوگانه که از مدل‌های دو بعدی برای شبیه‌سازی شبکه سطح زمین استفاده می‌کنند از دقت بسیار بالاتری در مقایسه با مدل‌های تک بعدی برخوردار هستند، اگر چه مدل‌های تک بعدی نیاز به انجام محاسبات کمتری دارد.

فرناندز و لوتز (۳)، طی تحقیقی، سیلاب‌های زیادی را که اخیراً شهرهای یربا بوئنا[1] و توکومان[2] استان توکومان آرژانتین را که باعث تخلیه خانه‌های تعداد زیادی از ساکنین منطقه شده بود، مورد بررسی قرار دادند. دلایل اصلی این مشکل، بارندگی شدید، توسعه خانه‌سازی‌های جدید در مناطقی که قبلاً نفوذپذیر بوده‌اند و شبکه زهکشی قدیمی اعلام شد. روش این تحقیق، روی آنالیز متغیرهایی که روندیابی آب را در زمانی که حداکثر پیک جریان از ظرفیت انتقال شبکه زهکشی بیشتر است، متمرکز می‌باشد. مدل، پنج پارامتر فاصله تا کانال زهکشی، رقوم ارتفاعی، شیب، عمق سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی شهری را در مدل‌سازی دخالت می‌دهد. نهایتا، مدل با کمک روش‌های گسترش خطا و آنالیز حساسیت جهانی مورد ارزیابی قرار گرفت تا عدم قطعیت و اهمیت نسبی فاکتورهای ورودی مدل سنجیده شوند.

شریفیان و همکاران (۱۳)، به تحلیل عدم قطعیت عمق آب در منهول‌های مهم خطوط لوله‌های سیستم‌های زهکشی پرداختند. در این مطالعه از مدل SWMM برای شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب و روندیابی جریان در مجاری آب استفاده شد. همچنین شبیه‌ساز Monte-Carlo و روش LH.S برای آنالیز عدم قطعیت به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، که ضریب عمق آب در منهول‌های متعددی از ۱۲٪ تا ۶۶٪ متغیر است. همچنین پارامترهای مربوط به زیرحوزه‌ها و بارندگی بیشترین تأثیر را بر دبی پیک سیل و عدم قطعیت آن دارد.

هدف از این تحقیق شبیه‌سازی سیلاب‌های شهری ناشی از بارندگی با مدل EPA-SWMM در حوزه شهری بابلسر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شهر بابلسر در مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۰ ثانیه الی ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و۴۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه الی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. منطقه مرکزی شهر بابلسر با و جود راه‌های دسترسی به بازارهای مرکزی شهر و همچنین جاده‌های دسترسی به مناطق توریستی و تفرجگاهی از جمله رودخانه بابلرود و ساحل دریای خزر از جمله مناطق مهم و قابل توجه در مدیریت شهری محسوب می‌شود.

بررسی آمار بلند مدت بارش ماهانه و سالانه ایستگاه هواشناسی بابلسر طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ میلادی نشان می‌دهد که متوسط بارش سالانه در این ایستگاه حدود۸۹۴/۵ میلی‌متر است. در بین ماه‌های سال، اکتبر و نوامبر در فصل پاییز به ترتیب با حدود ۱۵۱ میلی‌متر و**۱۴۲/۶**میلی‌متر بالاترین میانگین‌های ماهانه را به خود اختصاص داده‌اند و ماه می با میانگین۲۰/۵ میلی‌متر، پایین‌ترین متوسط بارش ماهانه در این دوره زمانی را دارد. به‌طورکلی در این ایستگاه همانند دیگر ایستگاه‌های ساحلی دریای مازندران بیشتر بارش‌ها در فصل پاییز رخ می‌دهد و فصل بهار دارای کمترین بارش است (۹). بیشترین وقایع آبگرفتگی نیز مربوط به ماه‌های پر باران سال است.

به‌منظور انتخاب مدل مناسب شبیه‌سازی، تعداد زیادی از آنها مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به

1- Yerba Buena
2- Tucuman

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

کارایی، کاربرد گسترده و دسترسی رایگان، مدل EPA-SWMM انتخاب شد.

مدل EPA-SWMM

این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ ارائه شد و تاکنون چندین بار ارتقا یافته است. به‌طور گسترده‌ای جهت برنامه‌ریزی، آنالیز و طراحی شبکه فاضلاب خانگی، شبکه فاضلاب ترکیبی و دیگر شبکه‌های زهکشی موجود در مناطق شهری با توجه به رواناب ناشی از رگبار در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدل مدیریت آب رگبار (SWMM)، یک مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب پویا با مبنای فیزیکی است که برای شبیه‌سازی‌های تک واقعه‌ای یا طولانی مدت (پیوسته) کمیت و کیفیت رواناب حوزه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مولفه رواناب SWMM روی مجموعه‌ای از زیرحوزه‌هایی که باران دریافت می‌کنند عمل کرده، رواناب و بارهای آلاینده را شامل می‌نماید. بخش روندیابی مدل، رواناب را از طریق شبکه لوله‌ها، کانال‌ها و تاسیساتی چون پمپ‌ها و تنظیم‌کننده‌های جریان منتقل می‌کند. این مدل، کمیت و کیفیت رواناب تولید شده در هر زیرحوزه ، سرعت، دبی و عمق جریان در هر لوله و کانال را در هر زمانی از دوره شبیه‌سازی ارائه می‌دهد.

مدل EPA-SWMM با کمک فرآیندهای فیزیکی رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، روندیابی جریان، روندیابی کیفیت آب، نفوذ، ذوب برف و آب راکد سطحی، رواناب ناشی از بارندگی را به‌طور کمی و کیفی شبیه‌سازی می‌کند (۱۰).

روندیابی جریان

معادلات بقای جرم و ممنتم بر جریان‌های متغیر تدریجی و غیرماندگار عبوری از لوله‌ها و کانال‌های شبکه زهکشی حاکم است. این معادلات، که به معادلات سنت ونانت معروف‌اند را می‌توان برای یک مجرای مستقل به‌صورت زیر نوشت:

پیوستگی

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

ممنتم

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

که x فاصله از ابتدای مجرا، A سطح مقطع جریان، Q دبی جریان t زمان، H بار آبی در مجرا (بار ارتفاعی به اضافه هر بار فشاری ممکن)، S_f شیب اصطکاکی (افت بار در واحد طول)، h_L افت موضعی انرژی در واحد طول مجرا و g شتاب ثقل است.

بایستی توجه داشت که برای یک سطح مقطع هندسی معلوم، A به‌صورت تابع مشخصی از عمق (y) است که می‌توان آن را از بار آبی (H) به دست آورد. پس متغیر وابسته در این معادله دبی جریان (Q) و بار آبی (H) است که تابعی از فاصله (x) و زمان (t) می‌باشد.

شیب اصطکاکی(S_f) را می‌توان بر حسب معادله مانینگ به‌صورت زیر نوشت:

$$S_f = \frac{n^2 v|v|}{K^2 R^{\frac{4}{3}}} \qquad (۳)$$

n: ضریب مانینگ، v: سرعت متوسط جریان، R: شعاع هیدرولیکی مقطع جریان و k: در سیستم متریک برابر ۱/۴۹ می‌باشد. افت موضعی (h_L) را می‌توان به‌صورت $\frac{Kv^2}{2gL}$ نوشت که K ضریب افت موضعی در موقعیت x است و L طول مجراست. حل معادلات سنت ونانت در یک مجرای مستقل، به شرایط اولیه H و Q در زمان صفر و شرایط مرزی x = 0 و x = L برای تمام زمان‌ها نیاز دارد. حل معادلات سنت ونانت به سه روش روندیابی جریان ماندگار، روندیابی موج سینماتیکی و روندیابی موج دینامیکی انجام می‌پذیرد.

روندیابی جریان ماندگار، ساده‌ترین نوع روندیابی ممکن را با فرض یکنواخت و ماندگار بودن جریان در هر گام زمانی انجام می‌دهد. لذا هیدروگراف جریان ورودی به یک مجرا را بدون هیچ تأخیر یا تغییر شکلی به خروجی مجرا منتقل می‌کند. این نوع از روندیابی را نمی‌توان برای ذخیره آبراهه‌ها، اثرات برگشت آب، تلفات در ورودی‌ها و خروجی‌ها، جریان معکوس و یا جریان تحت فشار مورد استفاده قرار داد. این نوع روندیابی به گام‌های زمانی به‌کار رفته حساس نبوده و تنها برای آنالیز اولیه و شبیه‌سازی‌های پیوسته بلند مدت مناسب است.

در روندیابی موج سینماتیکی، معادله پیوستگی به همراه شکل ساده شده معادله ممنتم در هر مجرا حل می‌شود. برای حل معادله ممنتم لازم است تا شیب سطح آب با شیب کف مجرا برابر گردد. حداکثر جریانی که می‌تواند از طریق یک مجرا منتقل شود، مقدار جریان نرمال در حالت پراست، هر جریانی که بیشتر از این مقدار بوده و وارد یک گره گردد، از شبکه خارج شده و یا در بالای ورودی گره ذخیره گشته و مجددا به داخل مجرا وارد می‌گردد. این نوع روندیابی را نمی‌توان برای شبکه‌هایی که دارای اثرات برگشت آب، جریان معکوس یا جریان تحت فشار هستند به کار برد.

روندیابی موج دینامیک

روندیابی موج دینامیکی، معادلات جریان سنت ونانت یک بعدی را به‌طور کامل حل می‌کند و لذا نتایج تئوری دقیقی را به همراه خواهد داشت. این معادلات شامل معادلات ممنتم و پیوستگی برای مجراها و معادله پیوستگی حجمی در گره‌ها می‌باشد. این روش روندیابی را می‌توان برای ذخیره آبراهه‌ها، برگشت آب، تلفات

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

انرژی در ورودی و خروجی‌ها، جریان معکوس و جریان تحت فشار به کار برد.

در تمام روش‌های روندیابی برای ارتباط دادن شیب (یا زبری) بستر و عمق با دبی جریان، از معادله مانینگ استفاده می‌شود و فقط برای اشکال مقطع دایره‌ای تحت فشار به جای معادله مانینگ از معادله هیزن- ویلیامز یا دارسی- ویسباخ استفاده می‌شود (۱۰).

شبکه جمع‌آوری رواناب‌های شهر بابلسر تلفیقی از شبکه‌های روباز (کانال‌ها و کانیووها) و زیرزمینی (اگوها) است که نیمرخ طولی برخی مسیرها دارای شیب‌های معکوس می‌باشند، لذا در این تحقیق از روندیابی موج دینامیکی جهت شبیه‌سازی استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوزه شهری بابلسر، به دلیل کوچک بودن حوزه، از رگبار طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله استفاده گردید.

جهت وارد کردن نقشه منطقه مورد مطالعه با مقیاس صحیح و رقوم ارتفاعی واقعی به محیط کار نرم‌افزار EPA-SWMM، از نقشه‌های مدل رقوم ارتفاعی و اتوکدی موجود استفاده شد.

داده‌های مربوط به ایستگاه هواشناسی، زیر حوزه‌ها، گره‌ها، مجاری آبرو و نقاط برون ریز جمع‌آوری، محاسبه و نهایتاً در مدل وارد شدند.

برای برآورد پارامترهای معادلات نفوذ، در چند نقطه از منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری‌هایی با استوانه مضاعف صورت پذیرفت و ضرائب معادله هورتن جهت شبیه‌سازی بخش بارش-رواناب محاسبه شد.

نتایج و بحث

مساحت منطقه مورد مطالعه این تحقیق ۴۸/۴۴ هکتار بوده که به ۷۰ زیر حوزه مجزا تقسیم شد. شیب متوسط زیر حوزه‌ها ۱/۷۹٪ برآورد گردید. شبکه جمع‌آوری آب‌های مازاد ناشی از بارندگی که شامل مجاری آبروی زیرزمینی (اگو) و کانال‌های روباز است متشکل از ۲۵۹ گره (نقاطی از شبکه که مختصات، رقوم ارتفاعی و مشخصات هندسی آن معلوم است) و ۲۶۶ مجرا (بخشی از شبکه که دو گره را به هم وصل می‌کند) می‌باشد. متوسط درصد وزنی اراضی نفوذناپذیر در منطقه مورد مطالعه ۸۷/۵٪ محاسبه شده که علت اصلی آن تراکم بالای ساختمان های مسکونی است.

بارش طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۸/۰۳۹ میلی‌متر، ۱۳/۷۶۸ میلی‌متر و ۱۷/۶۱۲میلی‌متر بوده و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شبکه زهکشی شهری منطقه مورد مطالعه با مدل EPA-SWMM برای بارش طرح ۲ ساعته انجام پذیرفت. مدت زمان شبیه‌سازی، با توجه به وجود جریان آب در شبکه، ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد.

از کل ۲۵۹ گره موجود در شبکه مورد مطالعه، پس از شبیه‌سازی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال، به ترتیب ۳۲، ۵۷ و ۶۰ گره دچار آبگرفتگی شدند.

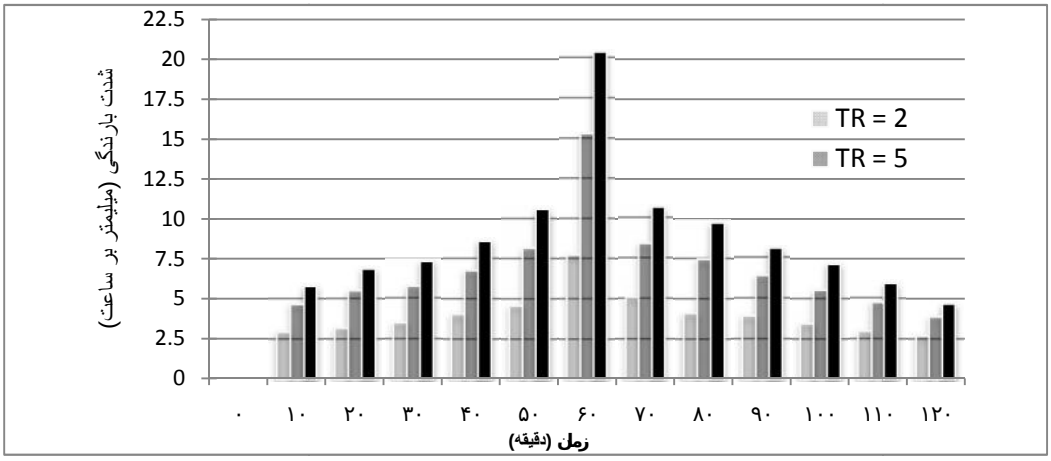
نقشه منطقه مورد مطالعه، به همراه گره‌ها و مجراهای تعریف شده و نام و موقعیت چند گره انتخابی حاد از نظر آبگرفتگی در محیط کار نرم‌افزار مدل، در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از تحقیقات رشیدپور (۹) نشان می‌دهد که الگوی کلی تیپ زمانی بارش شهر بابلسر با الگوی تیپ SCS (IA)[1] شباهت بیشتری دارد و بیان‌کننده این مسئله است که حداکثر بارندگی در میانه طول زمانی بارندگی رخ می‌دهد که از نظر هیدرولوژیکی منجر به تولید رواناب بالایی در حوزه شده و ریسک بالایی از سیلاب را در منطقه به همراه خواهد داشت. هایتوگراف مربوط به بارش‌های طرح در شکل (۲) آورده شده است.

1- Soil Conservation Service

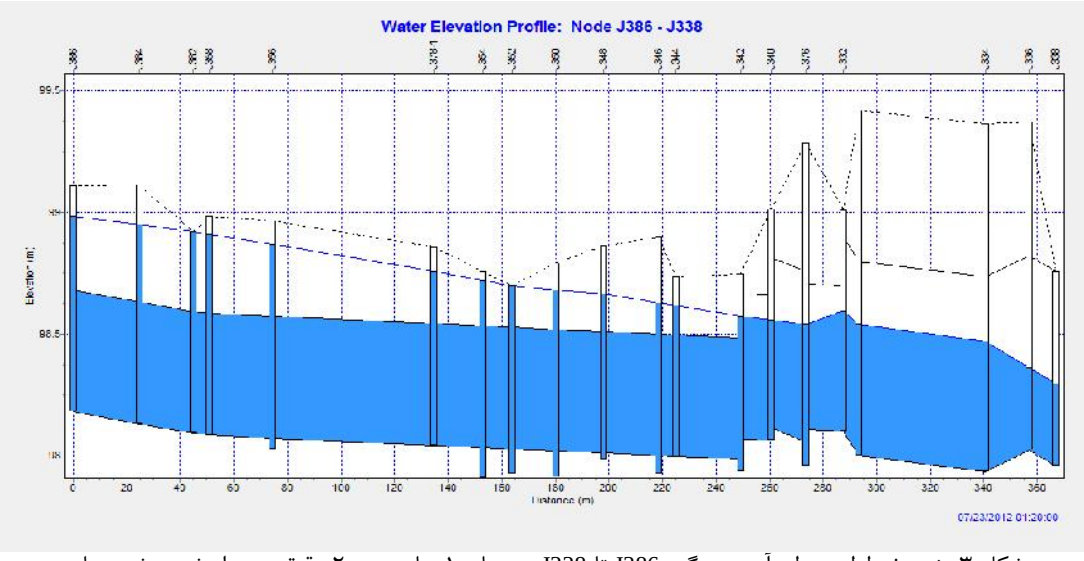
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه، محدوده زیرحوزه‌ها و شبکه جمع‌آوری زه آب‌ها



شکل ۲- هایتوگراف بارندگی ۲ ساعته برای دوره بازگشت‌های۲، ۵ و ۱۰ ساله

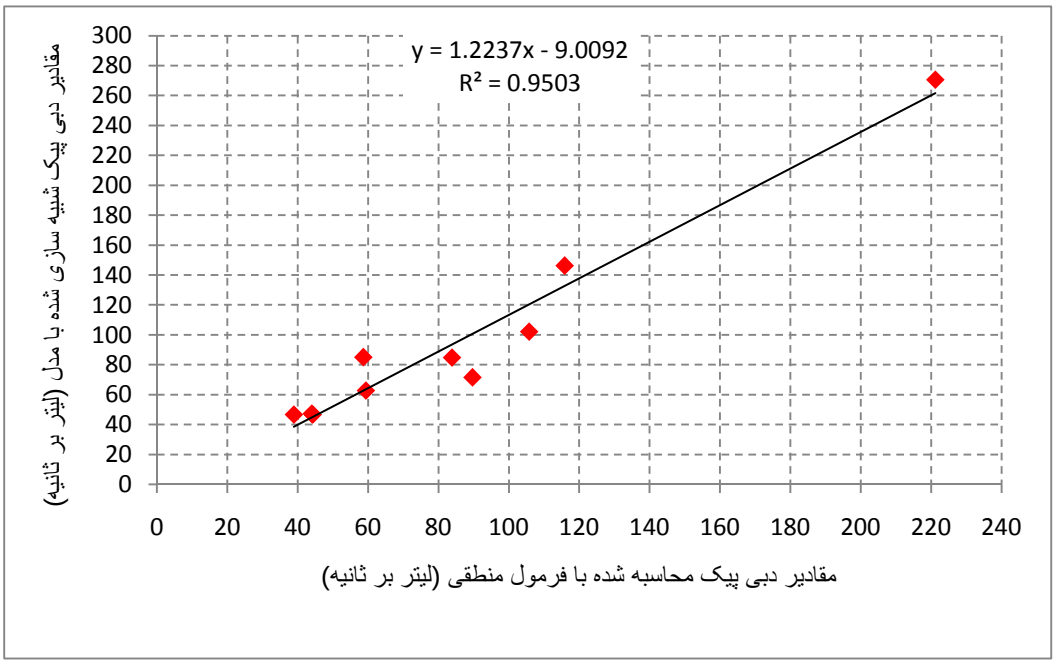


شکل ۳- نیمرخ طولی سطح آب بین گره J386 تا J338 در زمان ۱ ساعت و ۲۰ دقیقه پس از شروع شبیه‌سازی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

با توجه به بررسی‌های میدانی صورت گرفته و همچنین نقشه‌های موجود رقوم ارتفاعی شبکه جمع‌آوری زه آب‌ها، علت اصلی آب گرفتگی‌ها، کوچک بودن سطح مقطع مجاری آبرو و همچنین شیب کم و معکوس در برخی نقاط شبکه است. برای نمونه مسیر بین گره J386 تا J338 که بخش‌هایی از آن دارای شیب ناکافی و معکوس بوده و به مدت طولانی دچار آب گرفتگی می‌شود در شکل (۳) نشان داده شده است.

مقادیر دبی پیک، با استفاده از فرمول منطقی، برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال برای ۱۰ نقطه انتخابی محاسبه شدند. همچنین حداکثر دبی عبوری از این نقاط که در شبکه جمع‌آوری رواناب‌های منطقه مورد مطالعه قرار دارند، توسط مدل EPA-SWMM شبیه‌سازی شد. ضریب تبیین (R^2) بین این دو مقادیر برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۰/۹۵۳ ، ۰/۹۴ و ۰/۹۵ به دست آمد که در شکل (۴) همبستگی بین مقادیر دبی پیک محاسبه شده با فرمول منطقی و شبیه‌سازی شده با مدل، برای دوره بازگشت ۱۰ ساله ارائه شده است.



نتایج شبیه‌سازی مربوط به ۴ گره دارای بیشترین مشکل آب گرفتگی در منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی آب گرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح با آنچه که هر ساله در منطقه مورد مطالعه روی می‌دهد، مطابقت دارد. همبستگی بالای بین مقادیر دبی پیک شبیه‌سازی شده مدل با مقادیر برآوردی از روش منطقی و همچنین مطابقت شبیه‌سازی نقاط دارای حادترین وضعیت آب گرفتگی با پیشینه وقایع آب گرفتگی منطقه مورد مطالعه، موید صحت شبیه‌سازی مدل می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در طراحی و همچنین مطالعه شبکه جمع‌آوری رواناب‌های شهری از نرم‌افزار EPA-SWMM استفاده گردد.

تشکر و قدردانی:

از حمایت‌های همه جانبه شهردار بابلسر، آقای مهندس رنجبر و معاون محترم شهرداری، آقای مهندس احمدنژاد به دلیل در اختیار قراردادن داده‌ها و همکاری در برداشت‌های میدانی سپاسگزاری می شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

منابع

1. Alibakhshi, S. 2007. Analysis and Simulation of Flooding in Surface Water Collecting Networks Using Computer Model (Case Study: Tehran's District 22). M.Sc. Thesis. Mazandaran University. 223 pp. (In Persian)
2. Chocat, B., A. Semsar Yazdi and O. Blanpain. 1996. Elaboration of Assistance Methods and Tools in the Software Packages of Urban Drainage Systems for Selection of Hydraulic Models, ICUSD 96, 10 pp.
3. Fernandez, D.S. and M.A. Lutz. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucumán Province, Argentina, Using GIS and Multi Criteria Decision Analysis. Engineering Geology. 111: 90-98.
4. HSU, M., S. Chen and T. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. Journal of Hydrology. 234: 21-37.
5. Leandro, J., A.S. Chen, S. Djordjevic and A.S. Dragan. 2009. Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled Sewer/Surface Hydraulic Models for Urban Flood Simulation. Journal of Hydraulic Engineering. 124: 136-147.
6. Mark, O., S.Weesakul, C. Apirumanekul, S. B.Aroonnet and S. Jordjevic. 2004. Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding. Journal of Hydrology. 35: 159-172.
۷. Mignat, E., A. Paquier and S. Haider. 2006. Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. Journal of Hydrology. 327: 186-199.
8. Mousavi, S. and S.A. Ghavidelfar. 2006. GIS Application in Urban Flood Control-Case Study: Masal city. 7th International River Training Conference, University of Shahid Chamran. Ahvaz. (In Persian)
9. Rashidpour, M. 2012. Simulation & Prediction of Urban Flood-Case Study: Babolsar Urban Watershed). M.Sc. Thesis, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, 129 pp. (In Persian)
10. Rossman, L.A. 2010. Storm Water Management Model, User's Manual. Version 5.0.U.S. Environmental Protection Agency, USA.
11. Sanei, A. and R. Ahmadi Jazi. 2006. Comparison of Rational Methods and SWMM for Determination of Streams Flood Discharge. 1st National Stream Engineering Conference, Tehran. (In Persian)
12. Sharifan, R., A. Roshan and M. Oji. 2008. Application of SWMM Model in Design and Evaluation of Urban Surface Runoff Collecting System. 7th Iranian Hydraulic Conference. (In Persian)
13. Sharifian, R.A., A. Roshan, M. Afalatoni, A. Jahadi and M. Zolghadr. 2010. Uncertainty and Sensitivity Analysis of SWMM Model in Computation of Manhole Water Depth and Sub catchment Peak Flood. Journal of Procedia Social and Behavioral Sciences. 2: 7739-7740. (In Persian)
14. Smith, A.A. 1999. Integrating Simulation and Design for Storm water Management, Water Science Technology. 39: 261-268.
15. Taehwa, K., H. Sungchul and L. Jongtae. 2005. Sensitivity Analysis of the Parameters of SWMM Based on Design Rainfall Conditions, 10 pp.
16. Taheri Mashhadi, H. 2006. The Role of Risk Assessment in Flood Management- Case Study: Lavasan City. 2nd International Conference of Integrated Crisis Management in Natural Hazards. (In Persian)
17. Zoppu, C. 2001. Review of Urban Storm Water Models, Environmental Modelling and Software. 16: 195-231.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

Simulation of Flow in Open & Closed Conduits by EPA-SWMM Model (Case Study: Babolsar Urban Watershed)

Valiollah Karimi[1], Karim Solaimani[2], Mahmoud Habibnejad Roshan[2] and Kaka Shahedi[3]

1- Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: vkarimi80@hotmail.com)
2 and 3- Professor and Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: December 10, 2012 Accepted: September 17, 2013

Abstract

Because of urban rapid growth of Iran, some problems such as propagation of environmental pollutions, urban inundation and flood hazards due to lack of appropriate drainage systems and irregularity of conduits & streams are the major difficulties in urban watersheds. Because of hydrological & hydraulic processes complexities in urban area, using of computer models would be effective. In this study, EPA-SWMM model applied for quantitative simulation of flash flood in some parts of Babolsar urban watershed.12 hour's simulation was done for 2 hours design storm with 2, 5 and 10 years return periods. Quantities simulation results shows that among the 259 junctions in the drainage network of study area, 32, 57 and 60 junctions for 2, 5 and 10 years return periods were inundated respectively. Peak discharges for 10 junctions of study area drainage network, estimated by rational method compared with simulated ones shows good linear correlation. Field investigations, Elevation maps of conduits and conducted simulation implies that the main reasons of inundation are small cross section area of conduits and also low bed slope & invert slope in some places. Conformity of flooded junctions' simulation results due to rainfall with historical events in study area verifies the model simulations.

Keywords: Flood simulation, EPA SWMM model, Urban inundation, Babolsar urban watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]