دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

شبیه‌سازی سیلاب در شبکه زهکشی رواناب سطحی (مطالعه موردی حوزه آبخیز شهری شاهزاده رودخانه‌ی بابلسر- مازندران)

مصطفی رشیدپور[۱]، کریم سلیمانی[۲]، کاکا شاهدی[۳] و ولی الله کریمی[۴]

۱- مربی، موسسه آموزش عالی هراز، آمل، ایران، (نویسنده مسوول: rashidpour.mostafa@gmail.com)
۲ و ۳- استاد و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۲/۰۹/۱۳

چکیده

سیل‌گرفتگی در نتیجه ایجاد نقص و یا ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی رواناب سطحی از مشکلات اجتناب‌ناپذیر بسیاری از حوزه‌های شهری ایران به شمارمی‌رود. این مقاله نشان می‌دهد چگونه می‌توان با استفاده از یک مدل تک بعدی هیدرودینامیکی، گسترش سیلاب در یک شبکه زهکشی رواناب سطحی، متشکل از سیستم زهکش سطحی (خیابان‌ها به همراه کانال‌های روباز) و همچنین سیستم زهکش زیر سطحی (لوله‌ها و مجاری زیر زمینی) به همراه اثر متقابل آنها را شبیه‌سازی نمود. نتایج حاصل از فرآیند واسنجی و اعتبار سنجی نشان می‌دهد مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و برآورد حجم جریان و دبی اوج سیلاب‌ها دارد. مقدار پایین RMSE تأییدی بر قابل پذیرش بودن شکل کلی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل است. مقدار مطلق BIAS٪ کمتر از ۲۰ درصد بوده که نشان می‌دهد مدل کالیبره شده حجم کل جریان را در حد قابل قبولی پیش‌بینی نموده است. نتایج این تحقیق استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی تک بعدی را در شبیه سازی سیلاب در شبکه جمع آوری رواناب سطحی، مورد تاکید قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رواناب سطحی، حوزه شهری، شبیه‌سازی، مدل تک بعدی، بابلسر

مقدمه

سیل‌گرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری موجب وارد آمدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیر ساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود (۳۰). خطر سیلاب شهری و پیچیدگی‌های بالقوه موجود در سیستم‌های زهکشی رواناب سطحی شهری اخیراً بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است (۳۲،۲۲،۱۴،۱۳،۴). به منظور شبیه‌سازی سیلاب در یک وضعیت واقعی، روش (زهکشی دوگانه) توسعه داده شده که شامل دو بخش است، سیستم سطحی (بطور مثال، خیابان‌ها، جوهای آب، و کانال‌ها) و شبکه فاضلاب رگباری زیر سطحی (۳۷،۳۰). هر دو این قسمت‌ها بطور مستقل از هم مدل‌سازی می‌شوند. با توسعه تکنولوژی کامپیوتر، مدل‌های کامپیوتری متعددی به منظور شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از روش زهکشی دوگانه توسعه داده شده که از جمله این مدل‌ها می‌توان به MOUSE (۷) و Info Works (۳۶) و مدل‌های SWMM (EPA SWMM، MIKE SWMM، XP SWMM) (۱۳)، اشاره نمود. این نوع از مدل‌ها عمدتاً برای فهم روابط پیچیده بین بارش و سیلاب در حوزه‌های شهری توسعه داده شده‌اند. شریفان و همکاران (۳۳) از مدل SWMM برای شبیه‌سازی فرآیند بارش– رواناب و روندیابی جریان در مجاری آبرو درحوزه‌ی شهری شیراز استفاده کردند. همچنین شبیه‌ساز Monte-Carlo و روش L.H.S برای آنالیز عدم قطعیت بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که ضریب عمق آب در منهول‌ها از ۱۲٪ تا ۶۶٪ متغیر است و این ضرایب دارای توزیع احتمالاتی با چولگی مثبت بودند. کلمنتس (۶) به فرآیند واسنجی و اعتبار سنجی مدل‌های هیدرودینامیکی سیلاب شهری پرداخت. بسیاری از نویسندگان به نقل از کلمنتس معتقد هستند، که در واسنجی می‌بایستی صرفاً آندسته از پارامترهایی لحاظ گردند که در فرآیندهای شبیه‌سازی مشارکت داشته و موجب تغییر نتایج در این فرآیند شوند مگر اینکه اثبات گردد که داده‌های جمع‌آوری شده از برداشت‌های زمینی منطبق با واقعیات موجود در دنیای واقعی نیستند. این نقطه نظر بر این موضوع دلالت می‌کند که داده‌های ژئومتری، ابعاد سازه‌ها، سطح مناطق مشارکت کننده و ظرفیت پمپ‌ها می‌بایستی در فرآیند بهینه‌سازی ثابت در نظر گرفته شود. مارک و همکاران (۲۲)، توانایی‌ها و محدودیت‌های مدل‌سازی یک بعدی سیلاب شهری را به صورت موردی در شهر بانکوک تایلند مورد بررسی قرار دادند وروش‌های مدل‌سازی و اصول مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل سیلاب شهری را معرفی کردند. ایشان برای مدل‌سازی سیلاب از یک مدل هیدرودینامیک یک بعدی استفاده نموده و برای نشان دادن محدوده گسترش سیلاب از نقشه‌های GIS استفاده کردند. پاکر و همکاران (۲۶) یک مدل تک‌بعدی به نام REMU را با یک مدل دوبعدی به نام RUBAR 20 به منظور شبیه‌سازی سیلاب در یک حوزه شهری مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل‌های تک بعدی ابزار مناسبی برای مدل‌سازی جریان در خیابان‌ها هستند و استفاده از مدل‌های دوبعدی را برای شبیه‌سازی مناطق خاص از جمله محل تقاطع خیابان‌ها، مناطق پارکینگ‌ها و مناطق کاملاً

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

مسطح پیشنهاد می‌کنند. انتخاب بین استفاده از یک مدل شبکه سطحی یک بعدی یا یک مدل سیستم سطحی دو بعدی (وابسته به منطقه مورد مطالعه و پارامترهای مدل) تعیین‌کننده اعتبار نتایج مدل و زمان لازم برای انجام محاسبات برای دستیابی به این نتایج است (۱۶). لومی و همکاران (۱۹) یک مدل تک‌بعدی بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را با یک مدل دوبعدی مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که ساختار مدل تک بعدی برای خیابان های شیب‌دار مناسب است ولی در جایی‌که شیب خیابان کم می‌شود نتایج مدل از دقت قابل قبولی برخوردار نیست. با توجه مقیاس و وضوح مکانی داده‌های برداشت شده از سطح حوزه‌ی مورد مطالعه، مدل‌های با ابعاد کم (مدل‌های تک بعدی) نسبت به مدل‌های دو بعدی، در شرایط کمبود داده از نتایج قابل اعتمادتری برخوردارهستند (۱۱).

علی بخشی و همکاران (۱) به شبیه‌سازی سیلاب در شبکه‌های زهکشی رواناب سطحی منطقه ۲۲ تهران با استفاده از مدل MIKE SWMM پرداختند و نتایج بدست آمده را با روش استدلالی مقایسه نمودند. مقایسه روابط همبستگی میان مقادیر دبی خروجی برآورد شده از روش استدلالی با مقادیر متناظر حاصل از مدل نشان می‌دهد که همبستگی میان مقادیر دبی‌های مذکور در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. رستمی خلج و همکاران (۲۸) به تحلیل حساسیت متغیرهای موثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM در حوزه شهری شهرک امام علی (ع) شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد با ۳۰ درصد افزایش در پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر مقدار دبی اوج ۳/۳۸ درصد افزایش می‌یابد که بیشترین تاثیر را بر دبی اوج داشته و به عنوان حساسترین پارامتر مدل شناخته شد و از طرف دیگر درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تاثیر را بر دبی اوج حوزه مورد مطالعه دارد.

کریمی و همکاران (۱۵) از مدل EPA-SWMM برای شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌هایی از حوزه شهری بابلسر استفاده نمودند. شبیه‌سازی برای رگبارهای ۲ ساعته با دوره بازگشت ۲،۵،۱۰ ساله و برای مدت ۱۲ ساعت انجام پذیرفت. مقادیر دبی پیک محاسبه شده با فرمول منطقی برای ۱۰ نقطه در منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت‌های مذکور با مقادیر نظیر شبیه‌سازی شده با مدل، بیانگر وجود همبستگی خطی معنادار بین آنهاست.

معراجی و همکاران (۲۳)، به بررسی یک مدل بهینه شده پرداختند که در آن از الگوریتم PSO به عنوان ابزار بهینه‌سازی و از بلوک Transport از نرم‌افزار SWMM به عنوان ابزار شبیه‌ساز جهت تحلیل هیدرولیکی سیستم کنترل سیلاب استفاده شد. همچنین در این تحقیق به عنوان مطالعه موردی، از مدل فوق جهت طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب پارس جنوبی در جنوب ایران که ترکیبی از یک سد تأخیری با تخلیه‌کننده تحتانی و چندین کانال انتقال آب است استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده کارآمدی مدل پیشنهادی درکاهش هزینه‌های ساخت تا حدود ۲۳ درصد است.

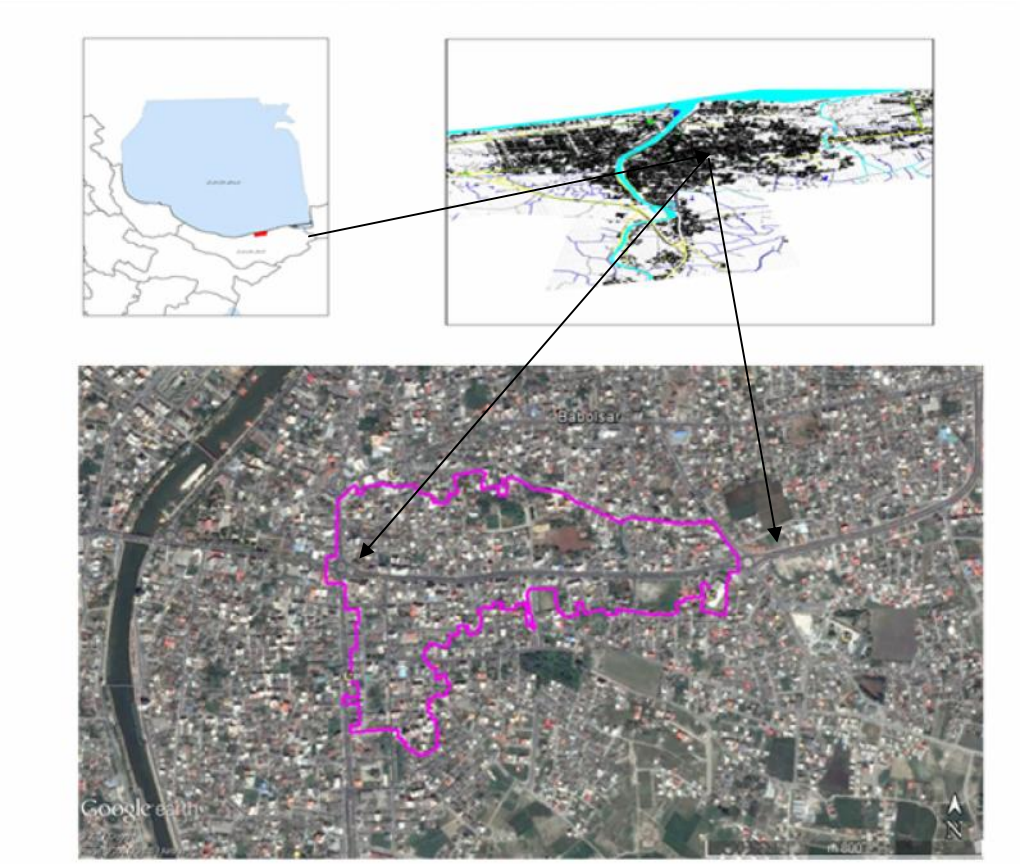
در این تحقیق با استفاده از مدل هیدرودینامیکی تک‌بعدی MIKE SWMM و بهره‌گیری از توابع موجود در GIS به شبیه‌سازی و آنالیز سیلاب در شبکه‌های زهکشی رواناب سطحی حوزه‌ی آبخیز شهری شاهزاده رودخانه‌ی بابلسر پرداخته شد.

منطقه مورد مطالعه

شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. منطقه مرکزی شهر بابلسر با وجود راه‌های دسترسی به مراکز و بازارهای فروش همچنین 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. حوزه آبخیز شهری شاهزاده رودخانه واقع در مرکز شهر بابلسر و به مساحت تقریبی ۵۰ هکتار می‌باشد. شیب متوسط این حوزه ۰/۰۲ متر بر متر، بارندگی متوسط سالانه ۸۵۸ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۶/۸درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شهری شاهزاده رودخانه بابلسر، مازندران، ایران
Figure 1. Geographical map of Shahzaderoodkhane Urban Watershed, Babolsar, Mazandran, Iran

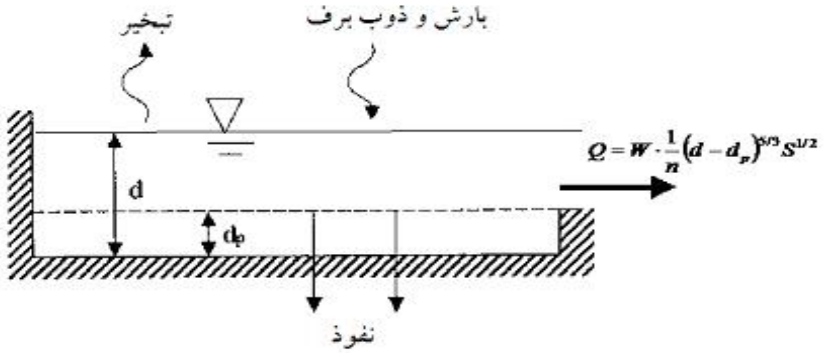
ساختار مدل MIKE SWMM

در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب شهری مدل‌های بسیاری با درجات مختلفی از پیچیدگی توسعه داده شده است (۲).

MIKE SWMM، یک بسته نرم‌افزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های سیلاب‌رو و فاضلاب‌رو می‌باشد. این نرم‌افزار که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI)[1] تهیه شده، یک بسته نرم‌افزاری رابط برای آماده‌سازی مجموعه داده‌ها برای مدل مدیریت سیلاب سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (US. EPA SWMM)[2] می‌باشد (۸). مدل مدیریت رواناب رگباری سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA SWMM) یک مدل پویای بارش- رواناب می‌باشد که برای شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف هیدرولوژی شهری و چرخه کمی و کیفی آن از جمله بارش، ذوب برف، جریان روزمینی، روندیابی جریان در شبکه زهکشی و تمرکز آلودگی‌های غیر نقطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل اولین بار در سال ۱۹۷۱ عرضه شده و تاکنون چندین بار ارتقاء یافته است. مدل SWMM از مفاهیم شناخته‌شده هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سیلاب در حوزه‌ی شهری استفاده می‌کند. پیچیدگی و دشوار بودن الگوریتم‌های عددی که برای حل معادلات حاکم نسبتاً ساده ضروری می‌باشد و نیز شبیه‌سازی یک سیستم پیچیده (به عنوان مثال فرآیند تولید سیلاب در یک حوزه شهری) که در اثر ورودی بسیار پویا (نظیر بارش) ایجاد می‌شود این مدل را در جایگاه ویژه‌ای نسبت به سایر مدل‌های رواناب شهری قرار داده است (۲۵). مدل SWMM به چندین بلوک تقسیم‌بندی می‌شود. در این مطالعه دو بلوک رواناب و انتقال توسعه یافته به منظور تحلیل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان مورد استفاده قرار گرفته اند.

1- Danish Hydraulic Institute
2- U.S. Environmental Protection Agency Storm -Water Management Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]



شکل ۲- مدل مفهومی انجام محاسبات رواناب سطحی توسط بلوک رواناب از مدل SWMM (منبع: نیکس، ۱۹۹۴)
Figure 2. Conceptual view of surface runoff by SWMM Runoff Block (by: Nix, S.J. 1994.)

مبنای تحلیل هیدرولوژیکی

تحلیل هیدرولوژیکی در مدل SWMM توسط بلوک رواناب انجام می‌شود. بلوک رواناب، رواناب سطحی و بارهای آلودگی را در پاسخ به بارش و تجمع آلودگی سطحی برآورد می‌نماید (۲۵).

بلوک رواناب به دلایل متعددی قلب SWMM محسوب می‌شود. کلید استفاده از بلوک رواناب تقسیم نمودن حوزه به تعدادی زیرحوزه است که هر زیرحوزه باید نسبتاً همگن باشد (به عنوان مثال خصوصیات فیزیکی باید مشابه باشند). میزان همگنی زیرحوزه‌ها بستگی به دقت و جزئیات مورد انتظار جهت رسیدن به اهداف مدل‌سازی خواهد داشت. نمایش مفهوم رواناب سطحی مورد استفاده در بلوک رواناب کاملاً ساده بوده و در شکل (۲) نشان داده شده است. سطح هر زیرحوزه به صورت یک مخزن غیرخطی با یک ورودی منفرد (بارش) عمل می‌نماید. در مقابل خروجی‌ها عبارتند از نفوذ، تبخیر و رواناب سطحی. ظرفیت این مخزن برابر است با حداکثر ذخیره نگهداشت[1] که مساوی است با حداکثر ذخیره سطحی ایجاد شده به‌وسیله گودال‌ها، رطوبت سطحی و برگاب. رواناب سطحی هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن از حداکثر ذخیره نگهداشت بیشتر شود. هم‌چنین آب ذخیره شده در اثر نفوذ و تبخیر کاهش می‌یابد. نفوذ تنها هنگامی اتفاق می‌افتد که سطح زمین نفوذ پذیر باشد (که در مقابل آن سطح نفوذ ناپذیر نظیر پارکینگ‌ها قرار دارد که طبق تعریف اجازه هیچ گونه نفوذی را نمی‌دهند). فرآیند نفوذ بوسیله یکی از دو روش معادله هورتن یا گرین آمپت) قابل مدل‌سازی می‌باشد. آب نفوذ یافته از میان لایه‌های زیر سطحی بالایی و پایینی خاک جریان یافته و ممکن است در رواناب کل از طریق جریان آب زیرزمینی شرکت نماید. مقادیر متوسط تبخیر ماهانه (که توسط کاربر در نظر گرفته می‌شود) به طور مستقیم برای محاسبه تبخیر از سطح (و بطور غیرمستقیم برای محاسبه تبخیر و تعرق از لایه‌های زیر سطحی) مورد استفاده واقع می‌شود. شدت بارش منهای مقادیر نفوذ و تبخیر و تعرق برابر است با مقدار ورودی خالص به مخزن. در این حالت جریان خروجی بوسیله شکل کلی معادله مانینگ، (معادله ۱) بدست می‌آید.

$$Q = W.\frac{1}{n}(d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

که دراین رابطه S شیب زیرحوزه بر حسب متر بر متر (که فرض می‌شود برابر با شیب اصطکاکی یا انرژی باشد)، W عرض جریان بر روی زیرحوزه یا عرض جریان سطح الارضی بر حسب متر، d عمق آب روی زیرحوزه بر حسب متر، dp عمق حداکثر ذخیره چالابی بر حسب متر است. پیچیده‌ترین پارامتر در معادله (۱) عرض جریان روزمینی W می‌باشد که برابر است با عرضی که در طول آن رواناب سطحی به وقوع می‌پیوند. در حالی که از نظر مفهومی درک عرض جریان سطح الارضی آسان می‌باشد، اما تخمین آن بر روی یک حوزه واقعی دشوار است. بنابراین به طور کلی از آن بصورت یک پارامتر واسنجی استفاده می‌شود. بلوک رواناب توانایی محدودی در روندیابی جریان در مجاری ساده و لوله‌ها با استفاده از روش مخزن غیر خطی دارد. به همین دلیل روندیابی‌های پیچیده‌تر در بلوک‌های انتقال[2] و انتقال توسعه یافته برای این هدف به‌کاربرده شد. جریان‌های سطحی تولید شده بوسیله بلوک رواناب در محل گره‌ها متمرکز می‌شوند. به عبارت دیگر جریان در طول مجاری آبرو یا لوله‌ها توزیع نمی‌شود.

مبنای تحلیل هیدرولیکی مدل

تحلیل هیدرولیکی در مدل SWMM توسط بلوک انتقال توسعه یافته (EXTRAN) انجام شد. بلوک مذکور قابلیت‌های هیدرولیکی بلوک انتقال را توسعه می‌دهد (۲۵). در این بلوک سیستم‌های مجاری آبرو بصورت شبکه‌ای از مجاری و گره‌ها (یا مجموعه‌ای از المان‌ها) نشان داده شد. جریان ورودی به سیستم‌ها در محل گره‌ها رخ داده و می‌تواند به طور مستقیم بوسیله کاربر وارد مدل شده و یا از بلوک رواناب یا سایر برنامه‌ها وارد شود.

1- Depression Storage
2- Transport

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

از آنجا که امواج هیدرولیکی در هر دو جهت منتشر می‌شوند، گره‌های بالادست و پایین‌دست برای هر مجاری آبرو یا اتصال تعریف شد.

روندیابی جریان در لوله‌ها و اتصالات با استفاده از شکل کامل معادلات سنت ونانت که از ترکیب معادلات پیوستگی (معادله ۲) و اندازه حرکت (معادله ۳) و برای جریان غیرماندگار تدریجی بدست می‌آید، انجام می‌پذیرد.

این معادلات عبارتند از:

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial Q}{Qt}+\frac{\partial\left(Q^{2}/A\right)}{\partial x}+gA\,\frac{\partial H}{\partial x}+gA\,S_{f}+gA\,h_{L}=0 \qquad (۳)$$

که در آن x فاصله از ابتدای مجرا، t زمان، A سطح مقطع جریان، Q دبی جریان، H بارآبی در مجرا، S_f شیب اصکاکی، h_L افت موضعی انرژی در واحد طول مجرا، g شتاب ثقل است (۸).

تفکیک زیرحوزه‌ها و استخراج پارامترها

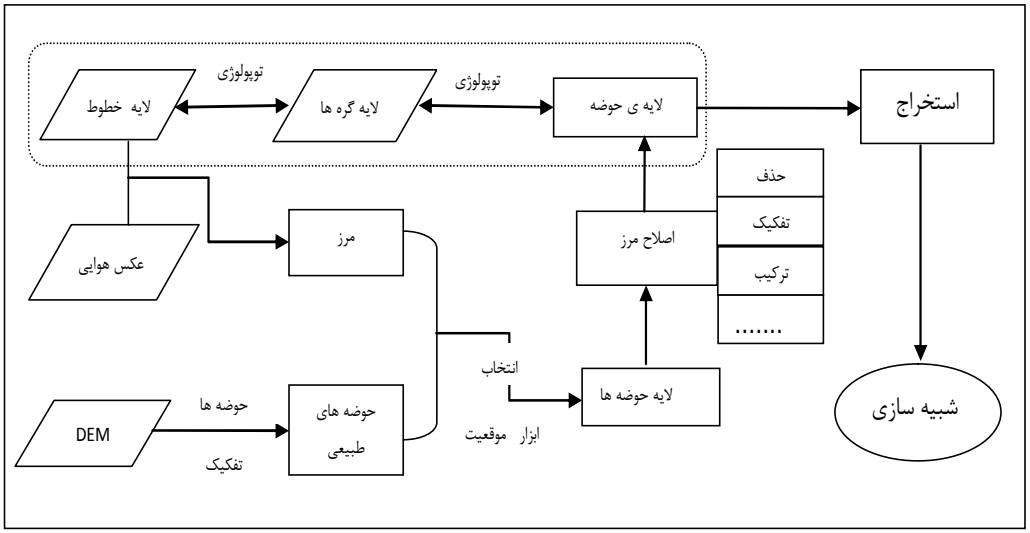
رواناب سطحی شهری فرآیندی پیچیده و شامل نفوذ سطحی، ذخیره چالابی، جریان روزمینی، نفوذ و جریان مستقیم ناشی از بارش می‌باشد. مدل‌سازی بارش–رواناب عمدتاً نیازمند تعریف زیرحوزه‌هایی بصورت فضایی برای انجام محاسبات است (۳۸). همه این فرآیندها برای هر زیرحوزه می‌بایستی محاسبه گردد. شکل زیرحوزه‌ها، مساحت‌ها و خروجی‌های زیرحوزه‌ها بر دقت محاسبات و پیش‌بینی زمان تمرکز رواناب سطحی تأثیر می‌گذارد. بنابراین توصیف دقیقی از زیرحوزه‌های موجود از اهمیت بالایی در مدل‌سازی بارش–رواناب برخوردار است (۳۹). تابع تحلیل مکانی در GIS، ابزار قدرتمندی است که می‌تواند در ساخت مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از GIS در استخراج روابط میان شهرسازی و تأثیر آن بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز در میان محققان شناخته شده است (۳۲). در این مقاله نیز با بهره‌گیری از توابع تحلیلی GIS زیرحوزه‌های معناداری برای حل معادلات هیدرولوژیکی به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش– رواناب تولید شد. فلوچارت روش تفکیک زیرحوزه‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است. بر این اساس در ابتدا مرز کلی حوزه‌ی مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌ی شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه بسته شد. طرح کلی شبکه‌ی زهکشی، با توجه به پیچیدگی سیستم زهکشی حوزه‌ی شهری بابلسر که متشکل ازسیستم‌های زهکشی سطحی و زیرسطحی است با استفاده از یک سری عملیات نقشه برداری دقیق و با استفاده دوربین توتال استیشن برداشت گردید. کل شبکه متشکل از ۲۵۹ گره و ۲۶۶ خطوط اتصال (مجاری آبرو) می‌باشد. جهت تفکیک زیرحوزه‌ها و تحلیل مسیرهای حرکت جریان درحوزه‌ی مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاع استفاده شد (۱۹).

مدل رقومی ارتفاع[1]، یک نمایش رستری از سطح پیوسته است، که معمولاً برای بازتاب عوارض سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از DEM در تهیه مدل آبگرفتگی سیلاب شهری (۳۹،۲۰،۲۲) شناخته شده است. در این تحقیق از DEM برای تفکیک مرز زیرحوزه‌های شهری و محاسبه برخی پارامترهای ورودی به مدل MIKE SWMM در توصیف زیرحوزه‌ها استفاده شد. به منظور شبیه‌سازی دقیق جریان سطحی در بالاترین حد ممکن، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر با روش میانیابی وزنی فاصله (۲۱) و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای منطقه مورد مطالعه استخراج شد. نقاط ارتفاعی وخطوط کنتور موجود در نقشه CAD با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و همچنین نقاط برداشتی از عملیات نقشه‌برداری زمینی شامل رقوم کف کانال‌ها، سطح مقطع خیابان‌ها و لبه‌ی جداول، رقوم سطح پیاده‌روها و موقعیت منهول‌ها داده‌های اولیه در تشکیل مدل رقومی ارتفاع در این تحقیق هستند. اندازه هر پیکسل ۱۰×۱۰ متر است که بازتاب نسبتاً مناسبی از عوارض موجود در حوزه‌های شهری دارد (۲۰). شیب، عرض و درصد مناطق نفوذناپذیر زیرحوزه‌ها بر اساس داده‌های DEM، نقشه کاربری اراضی و با استفاده از توابع تحلیل مکانی نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده و به‌همراه توصیف حوزه‌ها وارد مدل شود.

1- DEM

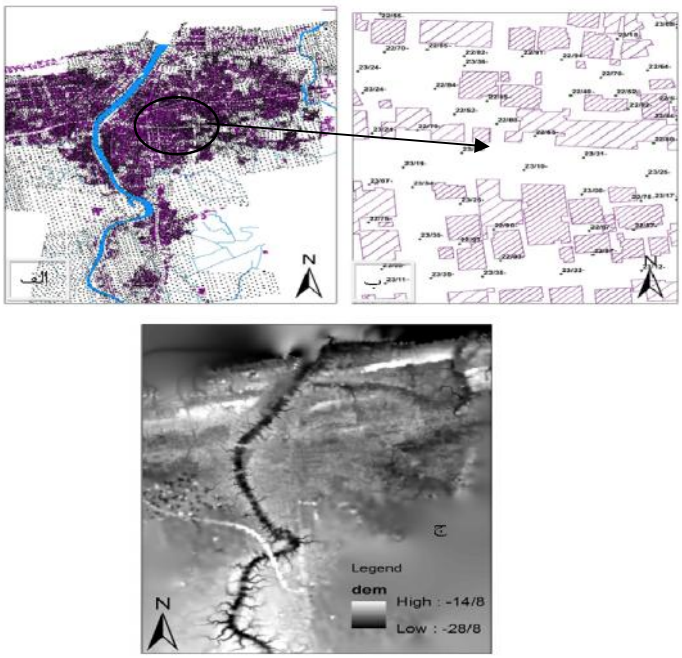
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]



شکل ۳- فلوچارت تفکیک زیر حوزه‌ها بر پایه GIS (اقتباس از زو و همکاران ۲۰۰۹)

Figure 3: Workflow of catchment discretization based on GIS (Extract: Zhao Dongquan and et al. 2009)



شکل ۴- الف پراکنش نقاط ارتفاعی در بابلسر و ب) نمایش بزرگنمایی شده از پراکنش نقاط ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه
ج) مدل رقومی ارتفاع شهر بابلسر

Figure 4. Distributions of elevation points in Babolsar City zoom in view of study area & DEM of Babolsar city

واسنجی و اعتبار سنجی مدل

انجام یک پیش‌بینی دقیق با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی مستلزم به‌کارگیری روشی‌است تا نتایج خروجی مدل به اعتبار مورد نظر دست پیدا کنند. واسنجی فرآیندی است که به موجب آن پاسخ مدل با استفاده از تنظیم تعدادی از پارامترهای مدل به پاسخ مشاهده شده از حوزه نزدیک می‌شود و معمولاً این فرآیند بوسیله آزمون وخطا و یا به‌دنبال یک فرآیند بهینه‌سازی اتوماتیک انجام می‌شود. بسیاری از نویسندگان به نقل از کلمنتس (۶) معتقد هستند، که در فرآیند واسنجی می‌بایستی صرفاً آن‌دسته از پارامترهایی لحاظ گردند که در فرآیندهای شبیه‌سازی مشارکت داشته وموجب تغییر نتایج در فرآیند واسنجی شوند، مگر اینکه اثبات گردد که داده‌های جمع‌آوری شده از برداشت‌های زمینی منطبق بر واقعیات موجود در دنیای واقعی نیستند. در این فرآیند میزان تطبیق داده‌ها بطور کمی و با استفاده از توابع احتمالاتی ارزیابی می‌شود. توابع احتمالاتی برای تشخیص

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

انطباق داده‌های مشاهده‌ای و خروجی‌های مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین منظور اشکال گوناگونی از توابع احتمالاتی توسعه داده شده‌اند که توابع هدف نامیده می‌شوند. در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی مدل از سه تابع هدف *RMSE*، *NS* و *BIAS %* استفاده شد. معیارهای مورد استفاده بر پایه روابط زیر محاسبه می شوند.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{obs} - Q^{av})^2}, \qquad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}, \qquad (۵)$$

(۶)

$$\%\,BIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n} Q_i^{obs}} \times 100,$$

در روابط بالا:

Q_i^{obs} = داده‌های مشاهداتی،

Q_i^{sim} = داده‌های شبیه سازی شده،

Q^{av}= میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌ها می‌باشند.

ضریب کارایی نش- ساتکلیف از معیارهای بسیار شناخته در تحقیقات هیدرولوژیکی برای ارزیابی کارآمدی یک مدل است. تغییر در ضریب n و یا در زمان شروع و پایان نتایج *NS* را تغییر می‌دهد. از ویژگی‌های این ضریب این است که تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای سری‌های زمانی را به صورت مقادیر مربع محاسبه می‌کند، بنابراین تأکید بیشتری بر مقادیر حد از جمله دبی پیک داشته و لذا از اطلاعات ارزشمند برای ارزیابی پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد (۱۷).

پایش داده‌های مشاهده‌ای[1]

بارش و جریان یازده واقعه بارش مجزا در طول فصل زمستان و بهار برای منطقه مورد مطالعه مورد پایش[2] قرار گرفت و از بین آنها چهار واقعه برای استفاده در فرآیند واسنجی و اعتبار سنجی انتخاب شد. سایر وقایع به‌واسطه خطا در اندازه‌گیری و یا مقدار کم بارش و عدم تشکیل رواناب در این فرآیند شرکت داده نشد. داده‌های رگباری ناشی از این بارش‌ها از ایستگاه سینوپتیک بابلسر در مجاورت محدوده مورد مطالعه استخراج گردید. به منظور برداشت جریان رواناب ناشی از این بارش‌ها، نقطه‌ای در خروجی حوزه انتخاب و به صورت موقت یک اشل برای اندازه گیری تراز سطح آب در این محل نصب شد. روابط تراز- دبی برای این نقطه از کانال استخراج شد (۳۴).

داده‌های شدت بارش برحسب میلی‌متر بر ساعت اندازه‌گیری شد. در طول نمونه برداری ارتفاع جریان در کانال بر حسب متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. جریان و بارش هر دو در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. موقعیت ایستگاه سینوپتیک و ایستگاه برداشت جریان در نقطه خروجی در شکل (۵) نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

مدل با استفاده از پارامترهای اولیه برآورد شده (جدول ۱) اجرا و پس از آن مرحله بهینه‌سازی با استفاده از روش آزمون و خطا انجام شد. در این مطالعه، ده پارامتر برای واسنجی انتخاب شد. پارامترهای شیب متوسط، عرض زیرحوزه‌ها و درصد مناطق نفوذناپذیر برای هریک از زیرحوزه‌ها با استفاده ازنقشه‌های تولید شده به‌وسیله ابزارها و روش‌های GIS محاسبه شده است. درصد خطای احتمالی این پارامترها ناشی ازخطای موجود در روش‌های اندازه‌گیری است. مقادیر این سه پارامتر درحوزه‌های محتلف متفاوت می‌باشد، اما اعتقاد بر این است که خطای نسبی در همه مقادیر یکسان است (۳۹). بنابراین هرسه پارامتر در تمامی زیرحوزه‌ها به‌طور همزمان درمرحله واسنجی کاهش یا افزایش داده شده‌اند. برای مثال، پارامتر شیب که در هر زیرحوزه دارای مقدار متفاوتی است، نسبت به مقدار اولیه از درصد مشخصی کم یا زیاد گردید. بازه‌های تغییر درصد برای این سه پارامتر در طی فرآیند واسنجی در جدول (۱) نشان داده شده است. پارامترهای ژئومتری لوله و منهول در مدل‌سازی شبکه به‌واسطه اندازه‌گیری در محل، عاری از خطا در نظر گرفته شد (۶). پارامترهای استنباطی مدل مثل ضریب زبری سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر و حجم ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر به‌وسیله مقادیر تجربی تخمین زده شده و لذا در فرآیند واسنجی دخالت داده شد (۴). پارامترهای معادله نفوذ هورتن با استفاده از اندازه‌گیری در دو ایستگاه در سطح حوزه‌ی مورد مطالعه و به‌وسیله روش استوانه مضاعف محاسبه گردید. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این دو ایستگاه به همه‌ی زیرحوزه‌ها تعمیم داده شده و لذا این‌پارامترها نیز در فرآیند واسنجی دخالت داده شد. برای هر مجموعه از پارامترها، مدل MIKE SWMM اجرا شد و نتایج شبیه‌سازی شده با هیدروگراف‌های مشاهداتی در ایستگاه اندازه‌گیری مقایسه گردید. سری‌های زمانی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی بهینه (نزدیکترین مقدار ضریب نش ساتکلیف به عدد یک) برای سه رگبار پایش شده در مرحله واسنجی در شکل‌های (۶، ۷ و ۸) نشان داده شده است. در میان پارامترهای اندازه‌گیری شده، مقدار بهینه درصد مناطق نفوذناپذیر نزدیک به مقدار اولیه است. خطای نسبی ۴/۵۳٪ نشان‌دهنده دقت اندازه‌گیری در این پارامتر است. خطای نسبی پارامتر شیب نسبت به مقدر اولیه بالغ بر ۱۵/۶۸درصد است. خطای موجود در این پارامتر را می توان عمدتاً ناشی از دقت مکانی مدل رقومی ارتفاع (داده اولیه برای تهیه نقشه شیب) دانست، اگرچه تلاش شد تا با استفاده از نقاط ارتفاعی موجود در نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری و همچنین نقاط برداشت شده از عملیات نقشه برداری (عمدتاً در مناطق مجاور کانال‌ها و سطح جاده‌ها) تا حدودی دقت مکانی مدل رقومی را افزایش داد. پارامترهای

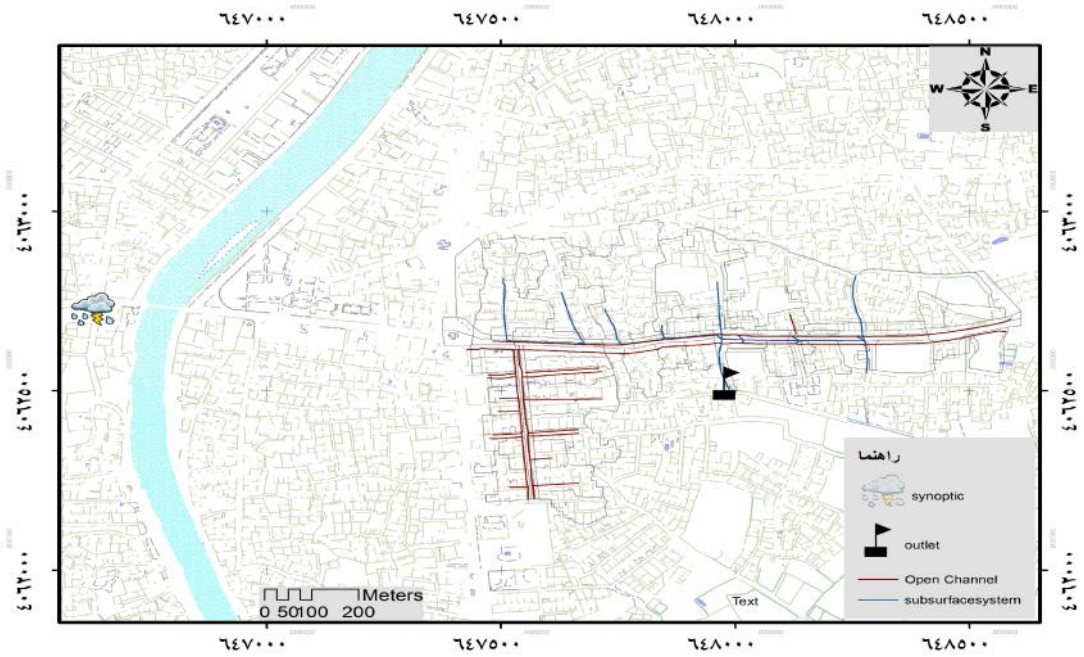
1- Field Monitoring Program

2- Monitoring

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

بهینه شده که در فرآیند واسنجی بدست آمد، برای شبیه‌سازی یک واقعه رگبار مستقل دیگر مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۹). این پارامترها همچنین پیش‌بینی مناسبی از حجم جریان را نشان می‌دهند. مقدار قابل قبول شاخص نش- ساتکلیف (بزرگتر از ۰/۵) در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی مدل نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب شکل هیدروگراف خروجی ازمدل است (جدول ۲).



شکل ۵- نقشه موقعیت شبکه‌های زهکشی سطحی، زیر سطحی رواناب رگباری، ایستگاه سینوپتیک و خروجی حوزه مورد مطالعه
Figure 5. Geographic position of surface and subsurface stormwater drainage system, Synoptic station and catchment's outlet

جدول ۱- مقادیر اولیه و بهینه شده پارامترها در مدل هیدرولوژیکی

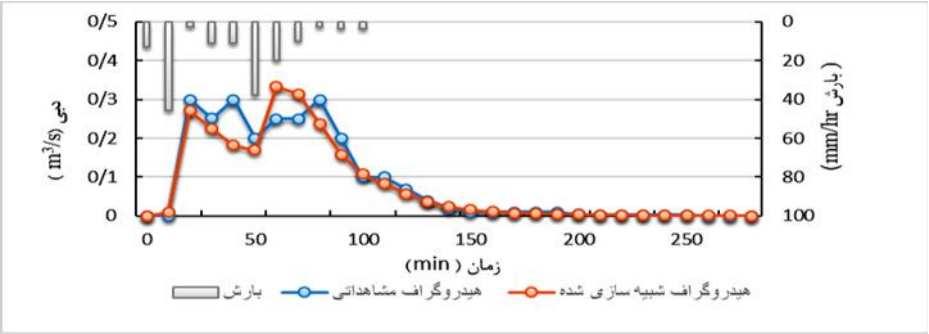
Table 1. Initial and optimized values of major parameters with respect to hydrology model

پارامترهای کالیبره شده	مقدار اولیه	محدوده تغییرات	منابع	مقدار بهینه شده
DCIA (%)	*-	٪۲۰±	(تمپورانو و همکاران۲۰۰۶)	-
Slope(m/m)	*-	٪۲۰±	(تمپورانو و همکاران ۲۰۰۶)	-
Width (m)	*-	٪۲۰±	(تمپورانو و همکاران ۲۰۰۶)	-
N- Imperv	۰/۱۲	۰/۱۱۰ -۰/ ۰۳۳	(تمپورانو و همکاران ۲۰۰۶)	۰/۰۲
N- perv	۰/۲۴	۰/۰۲-۰/۸	(هابر و دیکسون ۱۹۹۲)	۰/۶۵
Des- imperv (mm)	۱	۲/۵-۰/ ۳	(هابر و دیکسون ،۱۹۹۲)	۳/۷
Des-perv (mm)	۲	۲/۵-۵/۱	(شرینتز و حمید ۱۹۹۸)	۵
Max. Infilt (mm/h)	۶۶	۲۵-۷۵	مطالعات میدانی	۵۵
Min. Infilt (mm/h)	۸	۰-۱۰	مطالعات میدانی	۴/۵
Decay constant (1/h)	۳	۲-۷	مطالعات میدانی	۱/۵

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

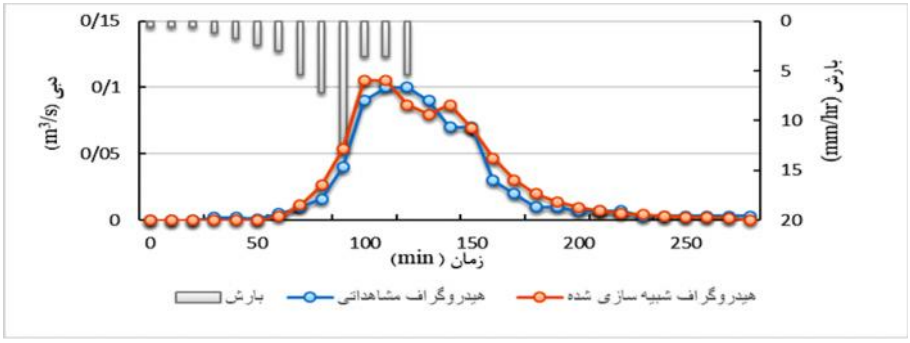
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]



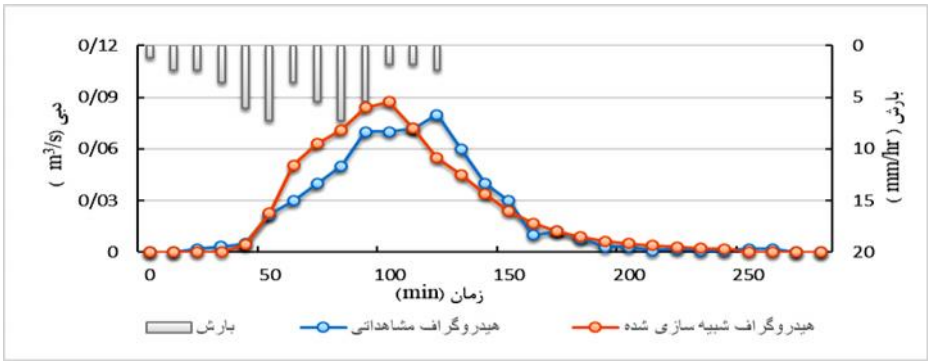
شکل۶ – نتایج وا سنجی: هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۰/۴/ ۱۳۸۹

Figure 6. Results of calibration: observed and simulated hydrographs for the storm event dated 25.12.2010



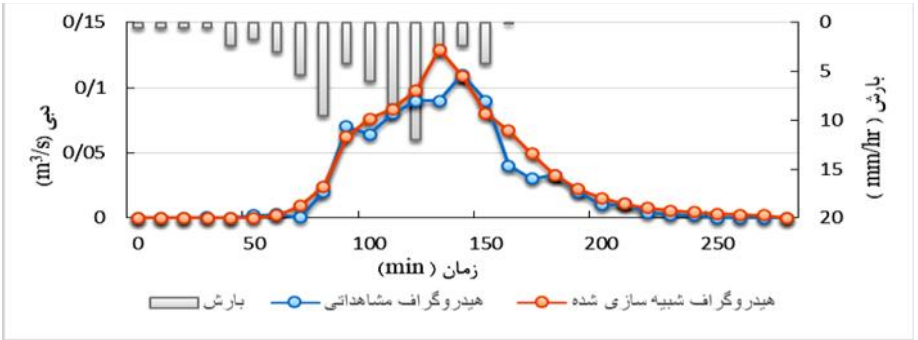
شکل ۷– نتایج وا سنجی: هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۰/۲۹/ ۱۳۸۹

Figure 7. Results of calibration: observed and simulated hydrographs for the storm event dated 19.01.2011



شکل ۸– نتایج وا سنجی: هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۲/۱۲/ ۱۳۸۹

Figure 8. Results of calibration: observed and simulated hydrographs for the storm event dated 01.02.2011



شکل ۹– نتایج اعتبارسنجی: هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۱۳۹۰/۱/۴

Figure 9. Results of validation: observed and simulated hydrographs for the storm event dated 03.04.2011

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

در این مقاله شبیه‌سازی سیلاب شهری با استفاده از یک مدل هیدرودینامیکی تک بعدی (MIKES WMM) مورد توجه قرار گرفته شد. توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS امکان استخراج پارامترهای فیزیکی خصوصیات زیرحوزه‌ها را جهت ورود به مدل هیدرودینامیکی و شبیه سازی فرآیند بارش- رواناب فراهم آورد. نتایج حاصل از فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان می‌دهد مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و برآورد حجم جریان و دبی اوج سیلاب‌ها دارد. مقدار پایین RMSE تأییدی بر قابل پذیرش بودن شکل کلی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل است. مقدار مطلق BIAS٪ کمتر از ۲۰ درصد بوده که نشان می‌دهد مدل کالیبره شده حجم کل جریان را در حد قابل قبولی پیش‌بینی نموده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد دو پارامتر کنترلی ورودی به مدل شامل مقدار ذخیره چالابی در مناطق نفوذپذیر (Des-perv) و مقدار ذخیره چالابی در مناطق نفوذناپذیر (Des-Imperv)، در محدوده‌ای منطبق با محدوده ذکر شده در منابع قرار ندارند. گمان می‌رود مقدار بالای بدست آمده برای این پارامترها در مناطق نفوذناپذیر بخاطر شیب بسیارکم زیرحوزه‌ها، پوشش ناهمگون سطوح آسفالت در خیابان‌ها (چالاب‌ها) و در مناطق نفوذپذیر پوشش گیاهی نسبتاً متراکم و ضریب نفوذپذیری بالا است که افزایش ضریب نگهداشت رواناب و کاهش دبی رواناب تولیدی از این مناطق را در پی داشته است. خطای نسبی پارامتر شیب نسبت به مقدار اولیه بالغ بر ۱۵/۶۸ درصد است که این امر را می‌توان به‌واسطه خطاهای موجود در DEM تهیه شده و با تفکیک مکانی ۱۰ متر دانست. اعتقاد ما بر این است که روش ارائه شده (استفاده از یک مدل هیدرودینامیکی و GIS) می‌تواند ابزار کارآمدی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های زهکشی در معرض سیلاب‌های شهری فراهم آورد. ترکیب GIS با مدل‌های هیدرودینامکی می‌تواند بطور فزاینده‌ای دقت برآورد فرآیندهای سیلاب شهری را بهبود بخشد (۲۰) که این امر به‌خاطر استفاده از پایگاه‌های داده زمینی است که افزایش چشمگیر قابلیت ذخیره خصوصیات ناهمگون موجود در حوزه‌های شهری را جهت استفاده در مدل‌های دینامیکی فراهم می‌سازد. بسیاری از پارامترهای کنترلی مدل‌های سیلاب شهری متأثر از خصوصیات فیزیکی حوزه هستند (۴) و لذا افرایش دقت برآورد پارامترهای فیزیکی حوزه‌ها می‌تواند بصورت چشمگیری در برآورد پارامترها تاثیرگذار باشد. همچنین این روش می‌تواند در افزایش سرعت دستیابی به یک ترکیب بهینه سیستم زهکشی رواناب شهری (۲۴) مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی تک بعدی در شبیه‌سازی سیلاب در سیستم‌های زهکشی شهری را مورد تاکید قرار می‌دهد.

تشکر و قدردانی

در پایان نویسندگان از مسوولین محترم شهرداری و شورای شهر بابلسر و پژوهشکده سنجش از دور و GIS دانشکده منابع طبیعی ساری به‌واسطه فراهم آوردن امکانات این پژوهش تقدیر و تشکر می‌نمایند. همچنین از جناب آقای مهندس احمدنژاد، معاونت عمرانی شهرداری بابلسر به واسطه تلاش‌های فراوان و حمایت‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان در پیشبرد این پژوهش سپاسگزاریم.

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, College of Agricultural Engineering. Mazandaran University, 233 pp (In Persian).
2. Chen, J. and B. Adams. 2006. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall- runoff modeling. Journal of Hydrology, 318: 232-249.
3. Chen, J., A. Arleen and D. Lensyl. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. Journal of Hydrology, 373: 184-192.
4. Choi, K.S. and J.E. Ball. 2002. Parameter estimation for urban runoff modeling. Urban Water, 4: 31-41.
5. Chow, V.T. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, Book Co. New York. 538 pp.
6. Clemens, F.H.L.R. 2001. Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration. PhD thesis, Delft University of Technology, 367 pp.
7. DHI Water & Environment. 2003. MOUSE surface runoff models Reference manual. DHI Water & Environment, 85 pp.
8. DHI Water & Environment. 2005. MIKE SWMM User Guide. DHI Water and Environment. Denmark, 79 pp.
9. Du, J., SP. Xie, Y. Xu, C. Xu and V. Singh. 2007. Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins. Journal of Hydrology, 306: 334-346.
10. Hammer, T.R. 1972. Stream channel enlargement due to urbanization. Water Resources Research, 8: 1530-1540.
11. Horritt, M. and P. Bates. 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology, 268: 87-99.
12. HSU, M., S. Chen and T. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. Journal of Hydrology, 234: 21-37.
13. Huber, W.C. and R.E. Dickinson. 1992. Storm water management model user's manual. version4. Environmental Protection Agency Georgia. 268 pp.

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

14. Jokik, D. and D. Madiment. 1991. Terrain analysis for urban storm water modeling. Hydrological Processes, 5: 115-124.
15. Karimi1, V., K. Solaimani, 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 Research. 6(11):162-170 URL: http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-501-fa.html
16. Leandro, J., S. Albert, S. Djordjević and D. Savić. 2009. Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled sewer/surface hydraulic models for urban flood simulation. Journal of Hydraulic Engineering, 136: 495-505.
17. Legates, D.R. and G. McCabe. 1999. Evaluating the use of goodness of fit measures in hydrologic and hydro climatic model validation. Water Recourses, 351: 233-241.
18. Leopold, L.B. 1968. Hydrology for urban land planning. A guide book on the hydrologic effects of urban land use. In: Geological Survey Circular 554.U.S. Geological Survey. Washington DC. 18 pp.
19. Lhomme , J., C. Bouvier and J.L. Perrin. 2004. Applying a GIS- based geomorphologic routing model in urban catchments. Journal of Hydrology, 299: 203-216.
20. Li, W.F., Q.W. Chen and J.Q. Mao. 2009. Development of 1D and 2D coupled model to simulate urban inundation: An application to Beijing Olympic Village. Chinese Science Bull, 54: 1613-1621.
21. Lindberg, S., J.B. Nielson and R. Carr. 1989. An integrated PC- modeling system for hydraulic analysis of drainage systems. In: The First Australian Conference on Technical Computing in the Water Industry. WATERCOMP '89. The Institution of Engineers. Melbourne. Australia, pp: 127-130.
22. 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, 299: 284-299.
23. Meraji, S.H., M.H. Afshar and A. Afshar. 2009. Optimal design of flood control systems using particle swarm optimization algorithm. International Journal of Engineering Science, 19: 41-53 (In Persian).
24. Mousavi, S.A. and S. Ghavidel. 2007. Urban Flood Control Using Geographic Information System (GIS) In the City of Masal. Northern Iran. 7th International River Engineering Conference Shahid Chamran University. Ahwaz, 7 pp (In Persian).
25. Nix, S.J. 1994. Urban Storm water Modeling and Simulation. Lewis Publishers, Boca Raton, 212 pp.
26. Paquier, A., J.M. Tanguy, S. Haider and B. Zhang. 2003. Estimation des niveaux d'inondation pour une crue éclair en milieu urbain: Comparaison de deux modèles hydrodynamiques sur la crue de Nîmesd'Octobre 1988. Reviue Science Eau, 161: 79-102.
27. Paul, M.J. and J.L. Meyer. 2001. Streams in the Urban Landscape. Annual Review of Ecology and Systematic, 32: 333- 365.
28. Rostami Khalaj, M., M. Mahdavi, Sh. Khalighi Sigarodi and A. Salajeghe. 2012. Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using SWMM Model. Journal of Watershed Management Research, 3: 81-91 URL: http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-56-fa.html
29. Sanati, A., Ahmadi, R.A comparison between rational methods and Swmm, for determining flood flow stream, the first National Conference on engineering streams (channel), Mashhad, Mashhad Municipality (In Persian).
30. Schmitt, T., M. Thomas and N. Ettrich. 2004. Analysis and modeling of flooding in urban drainage system. Journal of Hydrology, 299: 300-311.
31. Schueler, T. 1994. The importance of imperviousness. Watershed Protection. Second International Conference on Urban Drainage. Urbana, Illinois. June 14-19, pp: 322-330.
32. Seth, I., P. Soonthornnonda and E.R. Christensen. 2006. Use of GIS in urban storm-water modeling. Journal of Environ Eng, 32: 1550-1552
33. Sharifian, R.A., A. Roshan, M.A. Falatoni, A. Jahadi and M. Zolghadr. 2010. Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and subcatchment peak flood. Journal of Procedia Social and Behavioral Sciences, 2: 7739-7740.
34. Solimani, K. Rashidpour, M. 2009. Babolsar urban flood project: 2th technical report. Babolsar municipality, 425 pp (In Persian)
35. Valeo, C. and S.M.A. Moin. 2000. Variable source area modeling in urbanizing watersheds. Journal of Hydrology, 228: 68-81.
36. Wallingford Software. 2006. Info works CS, version7.5. Documentation. Wallingford.
37. Wisner, P.E., A.M. Kassem and P.W. Cheung. 1981. Parks against Storm Proceedings. Second International Conference on Urban Drainage, Urbana, Illinois, June 14-19, 322-330.
38. Yu, P.S., T. Yang and S.J. Chen. 2001. Comparison of uncertainty analysis methods for a distributed rainfall- runoff model. Journal of Hydrology, 244: 43-59.
39. Zhao, D., J. Chen, H. Wang, Q. Tong, S. Cao and Z. Sheng. 2009. GIS based urban rainfall- runoff modeling using an automatic catchment- discretization approach: a case study in Macau. Environmental Earth Science, 59: 465-472.
40. Zoppou, C. 2001. Review of urban storm water models. Environmental Modeling & Software, 16: 195-231.

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]

Simulation of Flooding in Urban Drainage Systems (Case study: Shahzaderoodkhane Urban Watershed, Babolsar- Mazandran-Iran)

Mostafa Rashidpour[1], Karim Solaimani[2], Kaka Shahedi[3] and Valiollah Karimi[4]

1- Faculty Member in Haraz Higher Education Institute, Amol, Iran,
(Corresponding author: rashidpour.mostafa@gmail.com)
2 and 3- Professor and Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Assistance Professor, Mazandaran Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
Received: February 4, 2012 Accepted: December 4, 2013

Abstract

Flooding due to the failure of drainage systems is a serious problem for many urban watershed of Iran. This paper shows how flooding in urban drainage systems can be simulated by one- dimensional hydrodynamic modeling incorporating the interaction between (I) the buried pipe systems (II) the streets with open channel flow. The values of the NS, RMSE, and %BIAS statistics were also calculated to assess the validity of the model structure. The NS results for calibration and validation of the case study demonstrate that the calibrated model simulated acceptably the shape of the actual hydrograph. The lower RMSE values also support the accuracy of the calibrated model in simulating the shape of the hydrograph. The absolute value of %BIAS is never more than 20%, which demonstrates that the calibrated model simulated acceptably the total flow volume. The results of this study emphasize the use of one-dimensional hydrodynamic model to Simulation of flooding in urban drainage systems.

Keywords: Babolsar, Simulation, Surface Runoff, Urban Watershed

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

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.213]