



دانشگاه گواران و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، استان گلستان

* سامان بدیعی‌زاده^۱، عبدالرضا بهره‌مند^۲، امیراحمد دهقانی^۳ و نادر نورآ^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۴ استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۵

چکیده

سابقه و هدف: سیستم‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزا مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری هستند و هر گونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع بشری مشکل‌آفرین باشد. در طراحی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی با افزایش و وسیع‌تر شدن سطح شبکه مقدار خطاهای طراحی افزایش می‌یابد. برای کاهش این خطا نیاز به طراحی دقیق شبکه می‌باشد. استفاده از مدل‌های رایانه‌ای کمک شایانی به طراحی دقیق نموده و در به‌دست آوردن طرح اقتصادی نقش بسیار مفید دارند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به منظور تعیین ابعاد بهینه شبکه زهکشی شهر گرگان از مدل هیدرولوژی-هیدرولیکی SWMM استفاده شده است. در این مطالعه برای واسنجی مدل از چهار واقعه بارندگی در تاریخ‌های ۱۳۹۰/۱۱/۲۲، ۱۳۹۰/۱۱/۳۰، ۱۳۹۰/۱۲/۱، ۱۳۹۰/۱۲/۲ استفاده شد و سرعت رواناب متناظر در خروجی زیرحوزه‌های منتخب برداشت شد. شاخص‌های کارایی مدل در این پژوهش شامل ناش-ساتکلیف، ریشه مربع خطا و بایاس در برآورد دبی اوج و حجم جریان نیز می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد ($BIAS\% = 11/44$ ، $RMSE = 0/006$ ، $NS = 0/7$) و از نتایج به‌دست آمده در فرایند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده شد. به منظور ارزیابی و تست اعتبارسنجی مدل از دو واقعه ۱۳۹۱/۲/۲ و ۱۳۹۱/۲/۱۶ استفاده شد نتایج حاصل از ارزیابی، کارایی و دقت مدل را تأیید می‌کند که در مورد هر دو واقعه مذکور شاخص‌های کارایی مدل، در حد قابل قبولی است ($BIAS\% = 8/1$ ، $RMSE = 0/00043$ ، $NS = 0/69$)، پس از ارزیابی کارایی مدل، بارش طرح با دوره بازگشت‌های طراحی محاسبه شد و مدل با دوره بازگشت‌های طراحی با توجه به پارامترهای بهینه و ابعاد شبکه زهکشی موجود اجرا گردید. دبی اوج عبوری از مجاری، براساس شدت بارش‌های طراحی مشخص شد و با توجه به نتایج حاصل از مدل براساس وجود و یا عدم وجود اضافه بار و شرایط سیلابی در محل‌گره‌ها و مجاری، کفایت شبکه موجود برای انتقال رواناب سطحی با دوره‌های بازگشت طراحی ارزیابی گردید با

* مسئول مکاتبه: saman.badie84@gmail.com

توجه به نتایج حاصل از مدل، در دوره بازگشت‌های دو، پنج و ده سال به ترتیب ۱۲/۴۸، ۳۰/۵۸ و ۴۰/۱۱ درصد از طول مجاری شبکه زهکشی موجود شرایط بحرانی و سیلابی نیز دارند. در نهایت ابعاد بهینه مجاری سیلابی برای هر کدام از دوره بازگشت‌های طراحی با توجه به تیب ابعاد بهینه از طریق آزمون سعی و خطا توسط مدل تعیین گردید. **نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: رواناب شهری، شبکه زهکشی، گرگان، SWMM

مقدمه

سیستم‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی از اجزا مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری هستند و هر گونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع بشری مشکل‌آفرین باشد. سیل‌گرفتگی شهرها و خسارات و زیان‌های فیزیکی (ساختمان‌ها، معابر عمومی)، صرف هزینه‌های اضطراری و خسارت وارد بر بهداشت و تندرستی نمونه‌ای از این مشکلات هستند. رشد سریع جمعیت توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع نیز این مشکلات را تشدید می‌نمایند زیرا تأثیرات نامطلوبی بر هیدرولوژی حوزه آبخیز داشته و سبب تشدید سیلاب‌ها و افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب جریان پایه می‌گردند کاهش پیامدهای تبعات زیانبار مذکور معمولاً با طراحی صحیح و تامین ظرفیت کافی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی قابل تحقق است که معمولاً نیازمند شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌های ریاضی خواهد بود. خطر سیلاب شهری و پیچیدگی بالقوه موجود در سیستم زهکشی و سیلاب شهری اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (2, 8, 18). از آن‌جا که سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی هنوز به‌عنوان مسأله مهمی در طراحی بافت شهری در نظر گرفته نشده و مشکلات ناشی از آن به وضوح در سطح شهرها دیده می‌شود، با این اوصاف به‌نظر می‌رسد

امروزه شهر گرگان، نیازمند بررسی پتانسیل‌های موجود جهت ارزیابی کارایی شبکه زهکشی موجود و تعیین ابعاد بهینه آن از لحاظ هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جهت تخلیه رواناب شهری می‌باشد. مدل SWMM در موارد زیادی به‌کار برده شده که در این جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. خالقی و همکاران (2010) عملکرد مدل SWMM را در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان رودخانه خشک شیراز مورد ارزیابی قرار داد (رودخانه خشک شیراز با تلفیقی از آبخیزهای طبیعی و شهری و مساحت ۹۰۰/۳ کیلومترمربع در جنوب‌غربی ایران و استان فارس واقع شده است). در این پژوهش ابتدا مدل مذکور با استفاده از ۱۲ رویداد دبی جریان در ایستگاه اقبال‌آباد واسنجی شد. پس از اجرای مدل با پارامترهای واسنجی‌شده، در مرحله اعتبارسنجی ۱۰ رویداد دبی جریان ایستگاه نهر اعظم و ۴ رویداد ایستگاه چنارسوخته مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشاهده نمود که نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM، همبستگی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دبی جریان در رودخانه خشک شیراز از خود نشان داده و مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در حد قابل‌قبولی بود (11). رستمی‌خلج و همکاران (2011)، به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیل آب گرفتگی شهری بخشی از شهرک امام علی (ع) شهر

ترکیب المان‌های جریان‌های روزمینی و کانالیزه شده صورت می‌پذیرد. بنابراین دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و همچنین قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوزه به بارندگی اضافی است. خروجی‌های مدل نیز به صورت جدولی و گرافیکی بوده و اهم آن‌ها عبارتند از هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل‌گرفتگی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت اشغال شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان‌های مختلف در مجاری، نقاط و بازه‌های بحرانی براساس شاخص کاربر و همچنین هیدروگراف سیلاب خروجی از زیرحوزه‌ها را شامل می‌باشد. از آن‌جا که مدل، جریان رواناب را در قالب شبکه زهکشی زیرحوزه‌ها و کلیه مجاری عبور آب شبیه‌سازی کرده و در طول مجاری و در محل اتصال کانال‌ها پروفیل سطح آب را ارائه می‌دهد، می‌توان از این مدل در مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی استفاده کرد و به برنامه‌ریزان امکان بررسی گزینه‌های مختلف طراحی را می‌دهد (14).

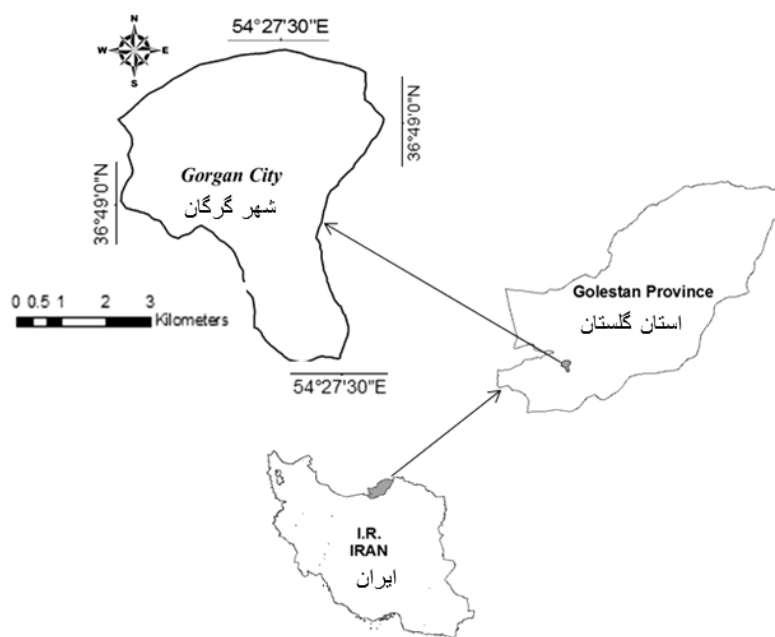
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: شهر گرگان بین ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۵ ثانیه عرض شمالی با ارتفاع ۱۵۵ متر از سطح آب‌های آزاد و مساحت ۳۶۵۲/۸۵ هکتار با جمعیت قریب به ۲۷۰ هزار نفر در بخش جنوبی استان گلستان واقع شده است. بنا به نمودارهای ایستگاه‌های هواشناسی حداکثر میزان بارندگی ماهیانه مربوط به اسفندماه به میزان ۱۰۵ میلی‌متر و مهرماه ۸۶/۹ میلی‌متر و مینیمم بارندگی در ماه‌ها مرداد به میزان ۲۴/۷ میلی‌متر و تیرماه به میزان ۳۲/۷ میلی‌متر می‌باشد (6).

مشهد از مدل‌های SWMM و HEC-RAS استفاده نمود. برای شبیه‌سازی رواناب شهری از مدل SWMM استفاده نمود. رواناب شبیه‌سازی شده در مدل SWMM وارد مدل HEC-RAS شد و با به‌کارگیری GIS¹ و برنامه جانبی HEC-GeoRAS نقشه پهنه‌بندی آب‌گرفتگی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله تهیه گردید. نتایج ارزیابی مدل SWMM نشان داد انطباق خوبی بین دبی و عمق رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. مقادیر RMSE به دست آمده نشان داد که می‌توان از این مدل برای پهنه‌بندی سیلاب در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود و نتایج قابل‌قبولی به دست آمد (16). حوزه شهری گرگان به‌عنوان مرکز جغرافیایی استان گلستان بوده که دارای مراکز توریستی و گردشگری فراوانی می‌باشد متأسفانه بروز سیلاب‌های شهری پس از رخدادهای رگباری با شدت نسبتاً بالا، باعث اختلال در رفت و آمد و تأثیرات منفی بر چشم‌اندازهای شهری بر جای می‌گذرد و از طرف دیگر بی‌نظمی‌هایی که در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی این منطقه وجود دارد، باعث تشدید این رخدادها شده، از این‌رو انجام این پژوهش را ضروری نموده است. هدف از این پژوهش تعیین کارایی شبکه زهکشی سطحی شهر گرگان هنگام رگبارهای سیلابی بوده و در صورت عدم کارایی و کفایت شبکه زهکشی موجود، تعیین ابعاد بهینه آن‌ها جهت تخلیه رواناب سطحی حاصل از این رگبارها می‌باشد.

ساختار مدل SWMM: مدل شبیه‌سازی دینامیکی بارش-رواناب (تک‌واقع و پیوسته) با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیرسطحی است. در این مدل برآورد سیلاب با روش موج سیستماتیک و

- 1- Geographic Information System
- 2- Storm Water Management Model



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.

مطالعه برای این منظور از نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱/۵۰۰۰ و بررسی‌های میدانی راجع به نحوه جمع‌آوری آب سطحی و شیب‌بندی خیابان‌ها و کوچه‌ها و همچنین استفاده از نقاط ارتفاعی نقشه کاربری اراضی مرز حوزه و زیرحوزه‌ها تعیین گردید و در نهایت منطقه مورد مطالعه به ۱۷۳ زیرحوزه تقسیم شد.

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

اطلاعات مورد نیاز اتصالات: مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیر حوزه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازدید میدانی و تعیین مشخصات فیزوگرافی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc map محاسبه شد. این مشخصات عبارتند از: رقم کف، طول و عرض جغرافیایی و حداکثر عمق اتصالات.

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

خصوصیات فیزیکی زیرحوزه‌ها: جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب لازم است تا یک سری پارامترهای زیرحوزه‌ها به‌عنوان ورودی به مدل اعمال شود. این پارامترها شامل عرض معادل، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مانینگ روی سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر و ذخیره سطحی مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر نیز می‌باشد.

تعیین زیرحوزه‌های منطقه مورد مطالعه: تعیین مرز در زیرحوزه‌های کوهستانی و شهری با توجه به این‌که در حوزه‌های شهری خط‌الراس و خط‌القعر مشخصی جهت تعیین مرز حوزه وجود ندارد بسیار مشکل است. در کل از یک اصل کلی تبعیت می‌کند که در آن تعیین مرز براساس خط تقسیم آب است. در این

توجه به این‌که زمان وقوع رگبارهای اندازه‌گیری شده در فصولی بوده که دما هوا زیر صفر بوده و میزان تبخیر در این ماه‌ها اندازه‌گیری نشده میزان تبخیر برابر صفر در نظر گرفته شد. از آن‌جا 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. در این مطالعه شش واقعه رگباری برای ارزیابی و واسنجی مدل استفاده شد. اطلاعات مربوط به این رگبارها در جدول ۱، ارائه شده‌اند.

اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی: این اطلاعات شامل مقادیر بارش (تک‌واقعه یا پیوسته)، تبخیر ماهانه، سرعت باد و همچنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد. با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعه رگباری (بارش - رواناب شبکه جمع‌آوری) اطلاعات فوق‌الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند، با این احوال این اطلاعات با فرض واقعه رگباری و به شکل زیر در مدل جایگزینی شده است. با توجه به فرضیات و امکانات مدل در خصوص دما از انتخاب عدم وجود اطلاعات استفاده شده است. در خصوص تبخیر با

جدول ۱- رویدادهای بارش انتخابی و تداوم آن‌ها در ایستگاه باران‌سنجی اداره آب منطقه‌ای شهر گرگان.

Table 1. Selected events of precipitation and their continuity in rain-gauge station of regional water department of Gorgan city.

91/02/16	91/02/02	90/12/2	90/12/1	90/11/30	90/11/22	رویداد Event
9.36	11.58	16	10	12.36	16.4	بارش (میلی‌متر) Rain (mm)
1	4.15	3.1	2.75	3.25	2.5	تداوم (ساعت) Continuity (hr)

خط‌کش Rod اندازه‌گیری شد و پس از آن سرعت رواناب با توجه به معادله سرعت خط‌کش Rod محاسبه شد. به‌منظور اطمینان از صحت و درستی میزان سرعت به‌دست آمده توسط خط‌کش Rod با استفاده میکرومولینه اقدام به اندازه‌گیری سرعت رواناب یکی از وقایع رگباری نموده آن‌گاه با توجه به رابطه رگرسیون خطی که بین معادله سرعت خط‌کش Rod و معادله سرعت میکرومولینه وجود داشت، سرعت واقعی خط‌کش Rod نیز به‌دست آمد. نمونه‌برداری از رواناب شهری به‌دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن رگبارها و همچنین عدم استفاده از دستگاه‌های ثبات (به‌دلیل کم بودن امنیت) کاری سخت و پرهزینه است، به همین دلیل در این مطالعه

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM: پس از استخراج مؤلفه‌های مورد نیاز مدل، به‌منظور واسنجی از چهار رویداد ۱۳۹۰/۱۱/۲۲، ۱۳۹۰/۱۱/۳۰، ۱۳۹۰/۱۲/۱ و ۱۳۹۰/۱۲/۲ و به‌منظور اعتبارسنجی از دو رویداد ۱۳۹۰/۲/۲ و ۱۳۹۱/۲/۱۶ استفاده شد. شایان ذکر است، از آن‌جا که هیچ‌گونه ایستگاه اندازه‌گیری هیدرومتری جهت اندازه‌گیری دبی در داخل شهر وجود نداشت، سرعت و ارتفاع رواناب متناظر با این رگبارها در کانال‌های ۳۷۶ و ۲۰۱ شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه با استفاده از خط‌کش Rod و میکرومولینه برداشت شد (شکل ۲). طریقه نمونه‌برداری به این صورت بود که هر ۱۵ دقیقه یک بار ارتفاع رواناب در کانال‌های مذکور با استفاده از

فقط از شش واقعه رگباری نمونه‌برداری صورت گرفت که چهار مورد به‌منظور واسنجی و دو مورد هم برای ارزیابی مدل استفاده شد. به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل شش پارامتر مهم استفاده شد، پارامترهای اولیه و دامنه تغییرات آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مدل SWMM.

Table 2. Variation range of primary parameters for implementing calibration of parameters of SWMM model.

منابع References	محدوده تغییرات Variation range	پارامترهای کالیبراسیون Calibration parameters
(9)	0.02-0.8	ضریب زبری مناطق نفوذپذیر N-perv
(9)	0.011-0.033	ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر N-imperv
(20)	2.5-7	ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر Des-perv (mm)
(9)	0.3-2.5	ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر Des-imperv (mm)
(19)	30±%	عرض معادل (متر) Width (m)
(19)	30±%	درصد مناطق نفوذناپذیر Imperv (%)

$$BIAS \% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \quad (3)$$

که در آن‌ها، Q_{oi} : داده‌های مشاهداتی، Q_{si} : داده‌های شبیه‌سازی شده، Q_{av} : میانگین داده‌ها مشاهداتی و N : تعداد داده‌ها است. اگر مقدار NSE برابر ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. مقدار NSE صفر نشان می‌دهد که مدل، نسبت به استفاده از مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی بهتر یا بدتر پیشگویی نمی‌کند. اگر NSE بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر NSE بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد، نتایج مدل رضایت‌بخش به‌شمار می‌رود.

$BIAS\%$: خطای کل در حجم جریان (mm/yr) بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده بیش‌تر یا

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل: به‌منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های ناش- ساتکلیف^۱، ریشه مربع خطا^۲ و بایس^۳ که از رایج‌ترین توابع احتمال در اکثر مطالعات هیدرولوژی شهری می‌باشند، استفاده شد (4, 12).

درروابط زیر:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{av})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2} \quad (2)$$

- 1- Nash-Sutcliffe criterion
- 2- Root Mean Square error
- 3- BIAS

کم‌تر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (3).

بارش طرح: در این پژوهش با استفاده از الگوی توزیع زمانی احتمالاتی هاف و الگوریتم بلوک‌های متناوب بارش طرح با تداوم برابر زمان تمرکز حوزه مورد مطالعه با دوره‌های بازگشت طراحی برآورد گردید بارش طرح با دوره‌های بازگشت طراحی و با فرض این‌که در تمامی سطح منطقه مورد مطالعه به‌طور یکنواخت بوده در نظر گرفته شده و الگوی بارش طرح در تمامی سطح منطقه از الگوی توزیع زمانی به‌دست آمده از روش احتمالاتی هاف برای یک دوره آماری سی‌ساله تبعیت می‌نماید. تغییرات بارش در طول تداوم رگبار طرح تنها با الگوی بارش طرح در نظر گرفت شده است و فرض این‌که بارش طرح در قسمت‌هایی از منطقه مورد مطالعه متغیر باشد، در نظر گرفته نشده و این الگوی رگباری، تمامی سطح منطقه را پوشش می‌دهد.

بهترین مقطع هیدرولیکی: گرچه در مجموع به طراحی کانال‌های باز چندان پرداخته نشده است ولی یکی از سؤالات اساسی که در ذهن هر طراحی بروز می‌کند این است که با توجه به آن‌که پارامترهای هندسی متفاوتی در شکل یک مقطع نقش دارند چه تناسبی از ابعاد، بهترین می‌باشد (7)، به این سؤال می‌توان از نظر ریاضی در قالب بهترین مقطع هیدرولیکی پاسخ داد. اگر به رابطه مانینگ توجه شود:

$$Q = \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} = \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{nP^{2/3}} \quad (5)$$

با توجه به رابطه‌های 4 و 5 نتیجه می‌شود که به‌ازای S, n و A ثابت دبی انتقالی کانال هنگامی که ماکزیمم است که پیرامون مرطوب حداقل باشد. از

نظر هیدرولیکی می‌توان چنین مقطعی را بهترین مقطع هیدرولیکی نامید. در بین کلیه مقاطع کانال‌های باز نیم‌دایره بهترین مقطع می‌باشد. زیرا به‌ازای مساحت ثابت دارای کم‌ترین پیرامون مرطوب می‌باشد ولی باید بتوان برای مقاطع دیگر نیز هندسه بهترین مقطع هیدرولیکی را تعیین نمود. با توجه به این‌که شکل مقاطع شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه از نوع مستطیلی بوده، با توجه به تفسیر فوق و روابط ارائه در بخش 2-2، تیپ ابعاد بهینه مقاطع هیدرولیکی مستطیلی محاسبه شد.

بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی: رابطه مقطع مستطیلی با ابعاد b و y را نشان می‌دهد. با توجه به تعریف در استخراج مشخصات بهترین مقطع هیدرولیکی می‌توان نوشت:

$$A = by \rightarrow b = \frac{A}{y} \quad P = b + 2y \rightarrow p = \frac{A}{y} + 2y$$

$$\frac{dQ}{dy} = 0 \rightarrow \frac{A}{y^2} + 2 = 0 \quad A = 2y^2 \rightarrow by = 2y^2 \rightarrow b = 2y$$

پس در بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی عرض کف دو برابر عمق جریان انتخاب می‌شود (7).

نتایج

پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر برای 4 رویداد اول ذکر شده در بخش 1-4، در ایستگاه باران‌سنج آب منطقه‌ای شهر گرگان و اسنچی شدند که میانگین مقادیر پارامتر و اسنچی شده براساس حجم جریان رویدادها برای اجرای اعتبارسنجی مدل با دو رویداد 1391/2/16 و 1391/2/2 در نظر گرفته شده است (1). جدول 3، مقادیر اولیه و بهینه شده و درصد تغییر این پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر اولیه و بهینه شده نتایج اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM.

Table 3. The primary amount, optimized amounts Percentage of variation of implemented results of main parameters of SWMM model.

درصد تغییر پارامتر Percentage of parameters Variation	مقادیر بهینه Optimized amounts	مقادیر اولیه primary amounts	پارامتر کالیبراسیون Calibration parameters
+10%	-	380.62	عرض معادل Width (m)
-30%	-	92.85	درصد نفوذناپذیری Imperv (%)
-23.25%	0.033	0.043	ضرب زبری مناطق نفوذناپذیر N-Imperv (%)
+23.28%	0.38	0.013	ضریب زبری مناطق نفوذپذیر N-perv
+2.63%	2.64	1.27	ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر Des-imperv (mm)
+5.57%	6.57	2.54	ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر Des-perv (mm)

همان‌طور که در بخش ۱-۵-۱ اشاره شد، به منظور ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از سه شاخص استفاده شد، که مقادیر آن‌ها در جدول ۴، نشان داده شده است.

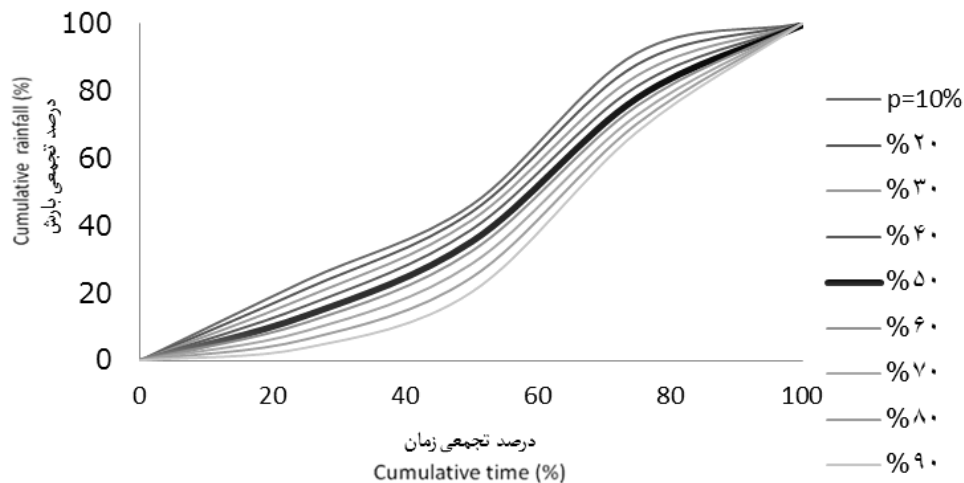
جدول ۴- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM.

Table 4. The amount of model efficiency criteria in calibration and validation period for SWMM model.

RMSE	BIAS%	NSE	رخداد event
0.0074	4.82	0.81	1390/11/22
0.0069	14.47	0.64	1390/11/30
0.0029	21.92	0.54	1390/12/01
0.0059	9.33	0.73	1390/12/02
0.00015	9.57	0.73	1391/02/02
0.00071	6.64	0.65	1391/02/16

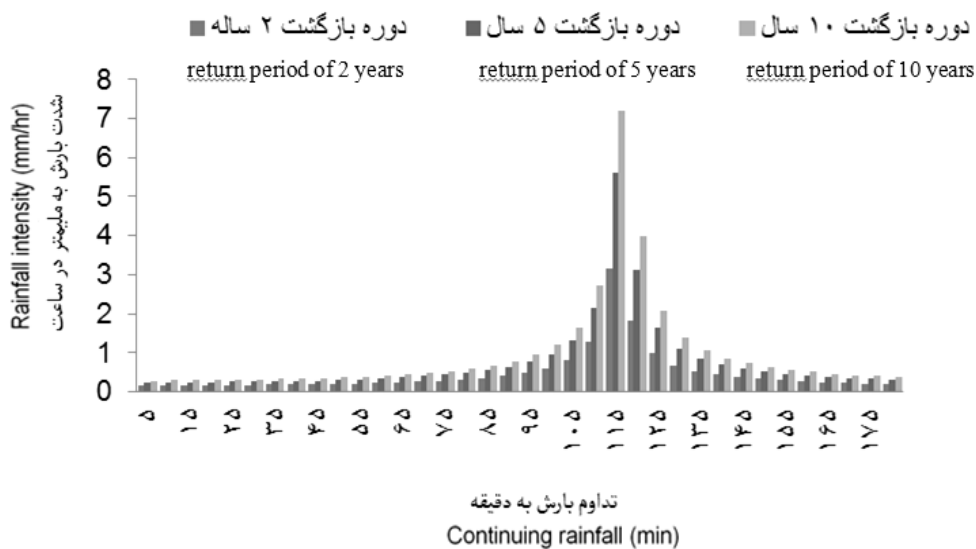
(جدول ۵). با توجه به این که تداوم سه‌ساعته دارای بیش‌ترین درصد وقوع بارش در بین سایر تداوم‌ها بوده و از طرفی زمان تمرکز حوزه منطقه مورد مطالعه (سه ساعت) می‌باشد، الگوی بارش سه‌ساعته به‌عنوان الگوی کلی منطقه معرفی شده است. در این تداوم مشخص شد که چارک سوم دارای بیش‌ترین و چارک چهارم دارای کم‌ترین درصد وقوع بارش نیز می‌باشد.

با توجه به روش احتمالاتی هاف مشخص شد، حداکثر فراوانی وقوع رگبارها در تداوم‌های کوتاه‌مدت مربوط به رگبارهای چارک سوم و در تداوم‌های طولانی‌مدت مربوط به رگبارهای چارک اول و دوم می‌باشد. به‌طوری‌که حداکثر فراوانی وقوع رگبارها در رگبارهای ۱، ۳ و ۶ ساعته در چارک سوم، در رگبارهای ۲ ساعته و ۱۲ ساعته در چارک دوم و در رگبار ۱۸ و ۲۴ ساعته در چارک اول می‌باشد



شکل ۲- الگوی نهایی توزیع زمانی بارش‌های رگباری منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Final pattern of temporal distribution of shower precipitations in study area.



شکل ۳- هایتوگراف بارش طرح با دوره بازگشت‌های طراحی.

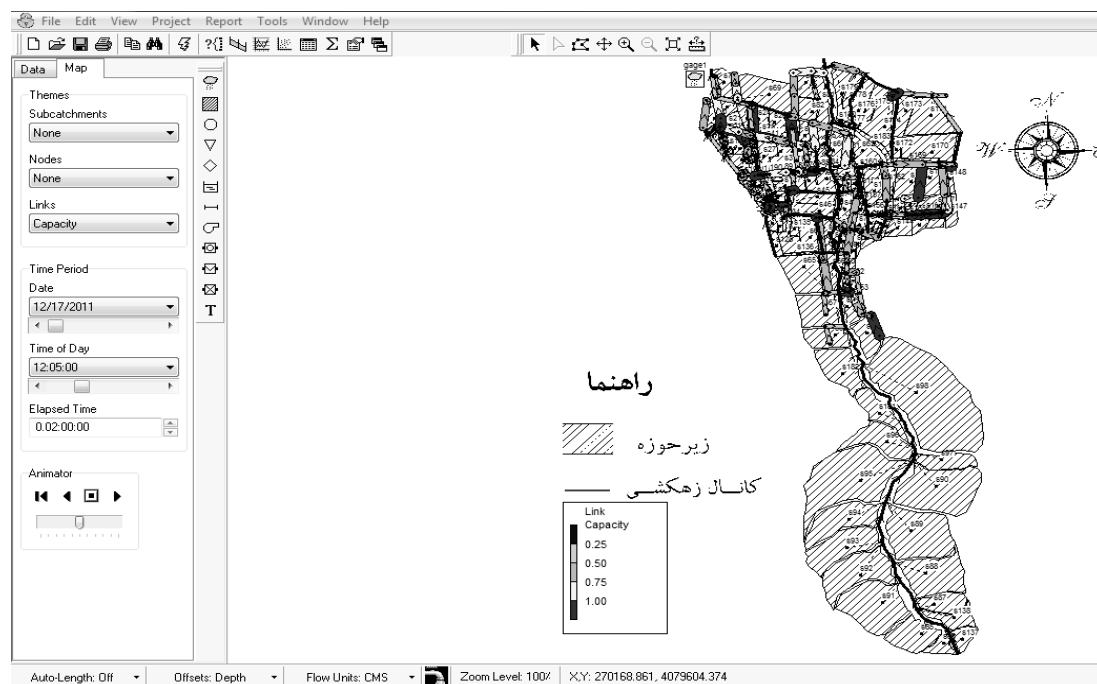
Figure 3. Hyetograph of design rainstorm with design recurrence period.

سیلاب خروجی از زیرحوره‌های مشرف با رودخانه زیارت حومه شهری گرگان (به‌ازای دوره‌های بازگشت طراحی)، مقادیر دبی‌های محاسبه شده در محل گره‌های ورودی سیل از زیرحوزه‌ها به شبکه زهکشی موجود، بارگذاری گردید و روندیابی سیل در مجاری زهکشی با روش موج سنماتیک و معادله افت

تعیین تراز سطح آب در مجاری شبکه زهکشی: با تکمیل اطلاعات لازم، مدل برای شدت‌هایی برابر با زمان تمرکز حوزه و با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله اجرا شده و در هر کدام از دوره بازگشت‌ها عملکرد اتصالات و مجاری شبکه زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از محاسبه مقادیر دبی اوج

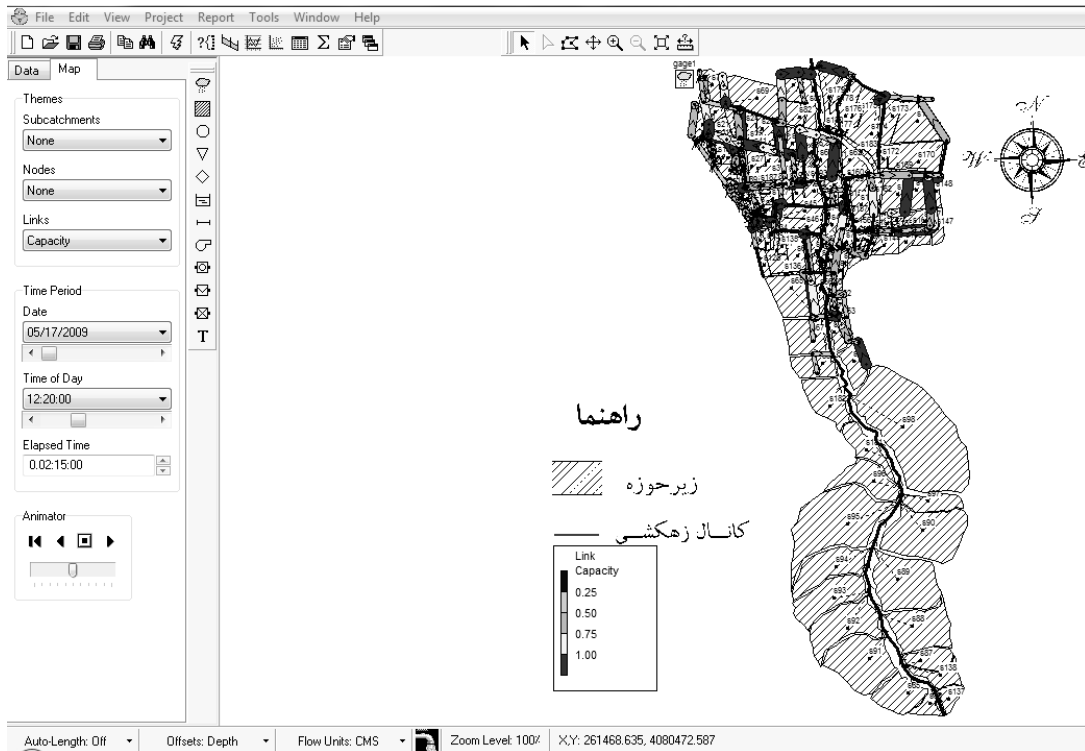
و ۶، نشان داده شده است. در نهایت ابعاد بهینه مجاری سیلابی برای هر کدام از دوره‌های بازگشت طراحی با توجه به تیپ ابعاد بهینه (روابط ارائه شده در بخش ۲-۲)، از طریق آزمون سعی و خطا توسط مدل تعیین گردید، شکل ۷ یک نمونه موردی از پروفیل سطح آب با دوره بازگشت ۲ ساله در مجاری واقع در خیابان شهید بهشتی از ابتدای خیابان فردوسی به سمت میدان شهرداری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که در کانال ۳۹ شبکه زهکشی منطقه فوق حالت سیلابی ایجاد گردید، با توجه به روابط ارائه شده در بخش ۲-۲، تیپ ابعاد بهینه مجاری بحرانی ارائه شده، توسط مدل نشان داده شده است (شکل ۸).

انرژی هازن ویلیامز انجام شد. دبی اوج عبوری از مجاری، براساس شدت بارش‌های متفاوت مشخص و با توجه به نتایج حاصل از مدل براساس 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. با توجه به نتایج حاصل از مدل، در دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده سال به ترتیب ۱۲/۴۸، ۳۰/۵۸ و ۴۰/۱۱ درصد از طول مجاری شبکه زهکشی موجود شرایط بحرانی و سیلابی نیز دارند، در این دوره‌های بازگشت منطقه دچار آب‌گرفتگی در اکثر قسمت‌ها می‌شود، سیستم شبکه زهکشی کارایی خود را از دست داده و باعث ایجاد مشکل برای ساکنین منطقه می‌شود. نتایج مدل در دوره‌های بازگشت طراحی در شکل‌های ۴، ۵



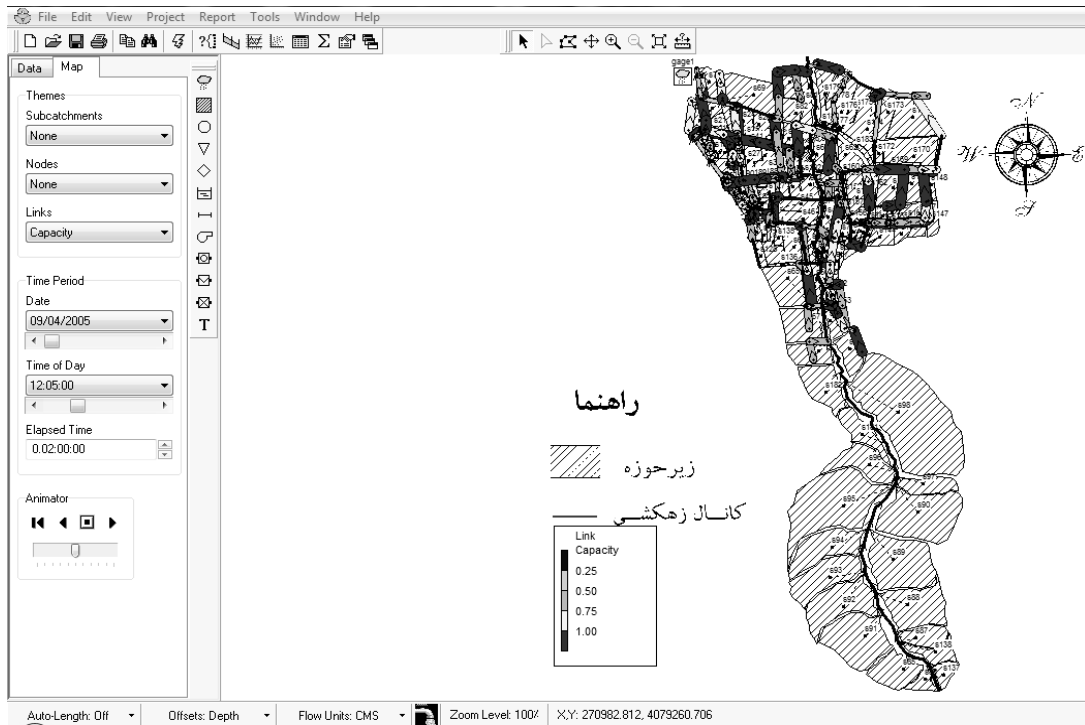
شکل ۴- نمایی شماتیک از عملکرد شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت ۲ ساله در محیط مدل.

Figure 4. Schematic view of the drainage network in the regions with a return period of 2 years.



شکل ۵- نمایی شماتیک از عملکرد شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت ۵ ساله در محیط مدل.

Figure 5. Schematic view of the drainage network in the regions with a return period of 5 years.



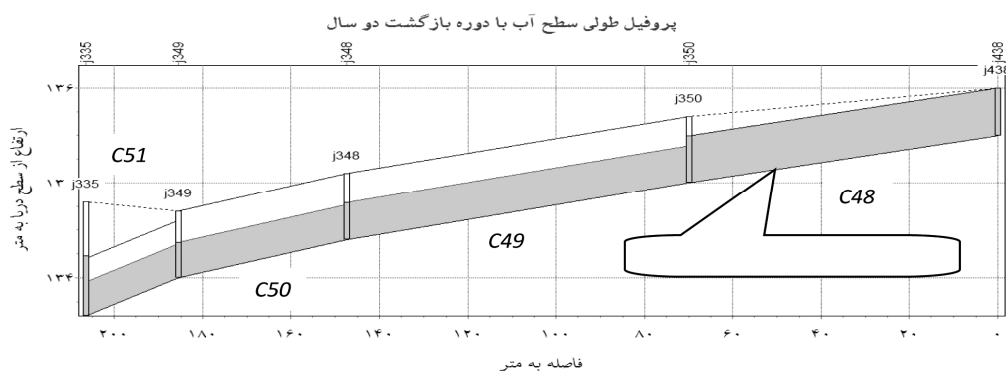
شکل ۶- نمایی شماتیک از عملکرد شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت ۱۰ ساله در محیط مدل.

Figure 6. Schematic view of the drainage network in the regions with a return period of 10 years.

بحث و نتیجه‌گیری

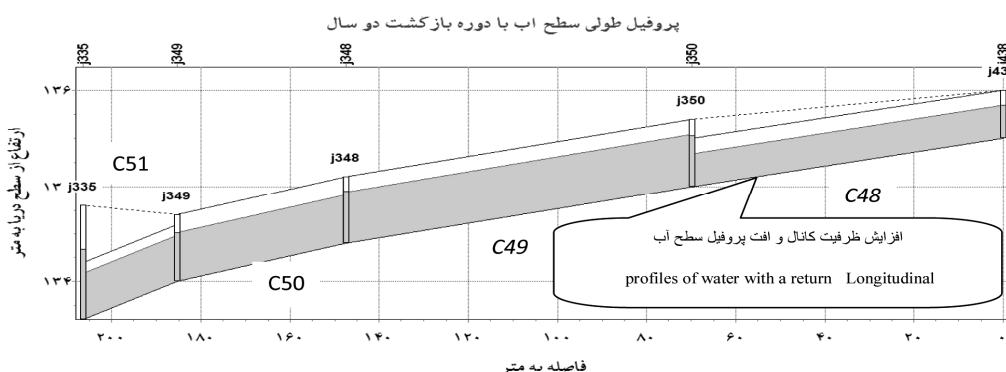
نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی و حجم رواناب در چهار واقعه بررسی شده انطباق خوبی با مقادیر مؤلفه‌های جریان مشاهداتی نیز دارد. مقدار ضریب نش-ساتکلیف برای واقعه اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۳، ۰/۵۴، ۰/۶۴ می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی و مشاهداتی وجود دارد و این می‌توان نشان‌دهنده این باشد که مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه‌سازی رواناب شهری دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه

زهکشی رواناب شهری استفاده منطقه مورد مطالعه استفاده نمود که با یافته‌های (4, 11, 13, 16) مطابقت دارد. علاوه بر این می‌توان از نتایج به‌دست آمده در فرایند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده نمود و در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه منطقه مورد نظر است استفاده نمود. این نتایج با نتایج (4, 5, 19) دارد. علاوه بر این می‌توان از نتایج به‌دست آمده در فرایند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده نمود و در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه منطقه مورد نظر است استفاده نمود. این نتایج با نتایج (5, 19, 21)، مطابقت دارد.



شکل ۷- پروفیل سطح آب با دوره بازگشت ۲ ساله در مجاری واقع در خیابان شهید بهشتی از ابتدای خیابان فردوسی به سمت میدان شهرداری در منطقه مورد مطالعه.

Figure 7. Water surface profile with a return period of 2 years ducts in the streets of Shahid Beheshti University in the City Hall Square in the study area.



شکل ۸- عملکرد ابعاد بهینه مجاری واقع در خیابان شهید بهشتی از ابتدای خیابان فردوسی به سمت میدان شهرداری در منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت ۲ ساله.

Figure 8. Performance optimization of the ducts in the streets of Shahid Beheshti University in the field of public utilities in the region with a 2 year return.

علاوه بر این می‌توان از نتایج به‌دست آمده در فرایند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده نمود و در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه منطقه مورد نظر است استفاده نمود. این نتایج با نتایج (4, 5, 19) مطابقت دارد. با توجه به قابلیت‌های مدل SWMM در برآورد رواناب و فراهم کردن خروجی در هر بخش، می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل‌قبولی برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد. دانگوان و همکاران (2009)، رستمی‌خلج و همکاران (2011) از هیدروگراف جریان در هر بخش به‌عنوان ورودی برای مدل‌های دیگر استفاده نمودند (4, 16). نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را تأیید می‌کند که در مورد هر دو واقعه اندازه‌گیری در کانال ۱۰۲ متغیر دبی مقدار ضریب نش-ساتکلیف بالاتر از ۰/۵ اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر RMES برای متغیر دبی در فرایند ارزیابی به‌ترتیب ۰/۰۰۲۹ و ۰/۰۰۵۹ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده نتایج قابل‌قبول مدل است. مقادیر BIAS% نشان‌دهنده درصد تغییرات بین میانگین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در n فاصله زمانی است. همان‌طور که در جدول مشخص است مقدار مطلق BIAS% بیش‌تر از ۲۰ درصد نبوده که ثابت می‌کند که مدل کالیبره شده حجم کل جریان را به خوبی پیش‌بینی نموده است. بنابراین می‌توان گفت مدل مورد استفاده برآورد به‌نسبت خوبی از مؤلفه‌های جریان داشته است و در مجموع مقادیر به‌دست آمده صحت فرایند واسنجی را تأیید می‌کند که با یافته‌های (11, 15, 16) مطابقت دارد. تراز سطح آب در شبکه زهکشی موجود بررسی شد. همچنین از پروفیل‌های سطح آب به‌دست آمده از این مدل می‌توان برای تهیه نقشه مناطق در معرض خطر و مدیریت حوزه‌های شهری برای کاهش خطرات

سیلاب شهری استفاده نمود. از پروفیل‌های سطح آب با دوره بازگشت‌های مختلف جهت بررسی و ارزیابی سیستم انتقال رواناب شهری استفاده و مشخص کرد که چه مناطقی در اثر وقوع سیل با دوره بازگشت مختلف بیش‌تر تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند و برای اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب شهری، این مناطق در اولویت قرار دارد. همان‌طور که در نتایج حاصل از مدل و تراز سطح آب در پروفیل طولی مقاطع نشان داده شده است، سیستم جمع‌آوری رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه در دوره بازگشت دو ساله مشکل آب‌گرفتگی کم‌تری دارد و تنها ۱۲/۵ درصد از طول شبکه زهکشی موجود دچار شرایط بحرانی و آب‌گرفتگی بوده، در دوره بازگشت پنج‌ساله و ۱۰ ساله، به‌ترتیب ۳۰/۶ و ۴۰/۱ از طول شبکه موجود دارای شرایط بحرانی می‌باشد در این دوره بازگشت‌ها منطقه دچار آب‌گرفتگی در اکثر قسمت‌ها می‌شود، مجاری شبکه زهکشی کارایی خود را از دست داده و باعث ایجاد مشکل برای ساکنین منطقه می‌شود. شایان ذکر بوده که نتایج مدل برای شرایطی از شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه به‌دست آمده که شبکه زهکشی عاری از هر گونه رسوب و زباله بوده و هیچ‌گونه انسداد و گرفتگی در مجاری زهکشی وجود نداشته، در صورتی که با وجود رسوب و مواد زاید درون شبکه مسلماً شرایط بحرانی و سیلابی شبکه بیش‌تر و حادث‌تر نیز خواهد شد. از نتایج به‌دست آمده در این مطالعه و تراز سطح آب در پروفیل‌های طولی مقاطع می‌توان چنین استنباط نمود که تمام منطقه از لحاظ خطر سیل آب‌گرفتگی و کارایی شبکه زهکشی تقریباً در شرایط نامساعدی قرار دارد و این موضوع در مناطقی که شبکه زهکشی تخریب شده و از لحاظ ابعاد ظرفیت کافی را برای عبور رواناب سطحی را ندارد پررنگ‌تر است و در شرایط بدتری از لحاظ

قرار داده و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمود. روش مورد استفاده در این پژوهش را می‌تواند در مرحله طراحی، پیشنهاد و ارزیابی شبکه زهکشی سطحی برای سایر مناطق شهری با وضعیت هیدرولوژیک مشابه، مورد استفاده طراحان، تصمیم‌گیران و مدیران اجرایی پروژه‌های آبخیزداری و مدیریت آب قرار گیرد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند مورد استفاده مراکز تحقیقاتی و اجرایی جهت برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم‌های زهکشی و مدیریت آب حوزه مورد مطالعه، قرار گیرد.

خطر آب‌گرفتگی قرار دارند. استفاده از این مدل یا مدل‌های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرائی و به‌ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راه‌کارهای ممکن به منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ عرصه‌های طبیعی قلمداد گردد. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار این امکان برای پژوهشگران و مدیران اجرایی به وجود می‌آید تا سناریوهای مختلف مدیریتی را (که امکان اجرای آن‌ها در زمان کوتاه و بدون صرف هزینه سنگین وجود ندارد) مورد ارزیابی

منابع

1. Bahremand, A., Corluy, J., Liu, Y.B., and De Smedt, F. 2006. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia. *Floods, from defence to management*. Pp: 67-74.
2. Chen, J., Hill, A.A., and Urbano, L.D. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. *J. Hydrol.* 373: 184-192.
3. Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J., and Cuddy, S.M. 2005. IHACRES User Guide. Technical Report, 2005/19.
4. Donquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., shangbing, C., and Zheng, S. 2009. GIS-based urban rain fall-run off modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macaa. *Environ. Earth Sci.* 59: 465-472.
5. Du, J.K., Xie, SP, Xu, Y.P., Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2007. Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins. *J. Hydrol.* 306: 334-346.
6. Golestan Regional Water Authority. 2010. Gorgan weather reports. 5p.
7. Hosseini, M., and Abrishami, J.C. 2002. Open channel hydraulics. Ninth printing, publishing Stanqdsrazavy, 613p.
8. Hsu, M.H., Chen, S.H., and Chang, T.J. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *J. Hydrol.* 234: 21-37.
9. Huber, W.C., and Dickinson, R.E. 1992. Storm water management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia, 266p.
10. Huff, F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms, *Water Resour. Res.* 3: 4. 1007-1019.
11. Khalghi, A. 1389. Simulation model using SWMM Hydrograph modeling and forecasting the impacts of watershed areas Dry River Shiraz. M.Sc. thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 128p.
12. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting though conceptual models. Part 1-A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
13. Phillips, Bc., Yu, S., Thompson, G.R., and Silva, N. 2005. ID and 2D modelling of urban drainage systems using Xp-SWMM and Tu Flow. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/ Denmark, 21-26 August 2005, 8p.
14. Rossman, L.A. 2009. Storm water management model, User's Manual version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 259p.

15. Rashidpur, M. 1390. Immersion depth determination and prediction of urban flood-related disruption of showery precipitation, case studies, Bobolsar urban areas, Watershed M.Sc. Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, 119p.
16. Rostami Khalaj, M. 1390. Urban flood risk zoning combining hydrological and hydraulic model study, the two municipalities Mashhad, Watershed M.Sc. Thesis, University of Tehran, 116p.
17. Selvalingam, S., Liong, S.Y., and Manoharan, P.C. 1978. Use of RORB and SWMM models to an urban catchment in Singapore. *J. Adv. Water Resour.* 10: 2. 78-86.
18. Sharifan, R., Roshan, A., and Ojei, M. 1387. SWMM model used to design and evaluate surface water collection and disposal of municipal networks, 7th Iranian Hydraulic Conference, 7p.
19. Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J., and Tejero, I. 2006. Storm Water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. *Water SA*, 32: 1. 55-63.
20. Tsihrintzis, V., and Hamid, R. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. *Hydrol Process*, 12: 2. 311-329.
21. Zeppou, C. 2001. Review of urban Storm Water Models. *J. Environ. Model. Soft wave.* 16: 195-231.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Urban flood management by simulation of surface runoff using SWMM model in Gorgan city, Golestan Province-Iran

***S. Badiezadeh¹, A.R. Bahremand², A.A. Dehghani³ and N. Noura⁴**

¹M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 09/03/2013; Accepted: 01/25/2015

Abstract

Background and Objectives: Water collection systems and disposal of superficial rain runoff are of the important components of urban planning and development, and any negligence in the system design could be problematic for human societies. In the superficial water collection networks design, design errors increase with the increment and extension the network. To reduce the error, the network design should be accurate. Computer models have greatly contributed to the accurate design and played a very useful role in achieving economical plan.

Materials and Methods: A study was done to determine the optimum dimensions of Gorgan city drainage network using hydrologic-hydraulic model SWMM. In this study, to calibrate the model, four rainfall events in dates 22/11/1390, 30/11/1390, 12/01/1390, 12/02/1390, were used and the speed of the corresponding runoffs in the chosen sub basin were recorded. In this study, Nash-Sutcliff, square root of error and bias error were used as model performance indices in the estimating peak discharge and flow volume.

Results: The model calibration results showed that the simulated peak discharge and flow volume are in good correspondence with the observed values (BIAS%=11.44, RMSE=0.006 and NS=0.70) and the calibration results were used for the optimum values of parameters. To evaluate and test model validation, two rainfall events in dates 2/02/1391, 16/02/1391, were used. The evaluation results were confirmed the efficiency and accuracy of the model, so that the model performance indices were acceptable in both cases (BIAS%=8.01, RMSE=0.00043 and NS=0.69). After evaluating model performance, design rainfall with return period was calculated and model with design return period was performed in respect to the optimal parameters and dimensions of the drainage network. Peak discharge passing through the channels was identified based on design rainfall intensities. The adequacy of existing network to carry runoff with design return period was assessed with regard to model results based on presence or absence of added load and flood conditions at the nodes and channels. According to the model results, 40.11, 58.30 and 48.12 percent of drainage network channels possess critical and flood conditions in 2, 5 and 10 return periods respectively. Finally, the optimal dimensions of flood channels were determined by the model through trial and error test according to the type of optimal dimensions for each design return period.

Conclusion: The results of the study indicate that the model has the accuracy required for urban runoff simulation and it can be used for urban runoff management plans and designing superficial water collection and disposal networks.

Keywords: Urban runoff, Drainage network, Gorgan, SWMM

* Corresponding Author; Email: saman.badie84@gmail.com