

به نام خداوند

جان و خرد



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب_سازه های آبی
شبیه سازی سیلاب شهری شهر شاهرود با استفاده از مدل SWMM

نگارنده: محمدعلی رحیمی

اساتید راهنما

دکتر صمد امامقلی زاده

دکتر غلامحسین کرمی

اساتید مشاور

دکتر مهدی دلقندی

دکتر زهرا گنجی نوری

بهمن ۱۴۰۰

شماره: ۳۰
تاریخ: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰
ویرایش:

باسمه تعالی
فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی های ۹۴ به بعد

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدعلی رحیمی با شماره دانشجویی ۹۷۰۰۲۹۴ رشته علوم و مهندسی آب گرایش سازه های آبی تحت عنوان شبیه سازی سیلاب شهری شهر شاهرود با مدل swmm که در تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ ☒ ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐ نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر صمد امامقلی زاده	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۳- استاد مشاور اول	دکتر مهدی دلقندی	استادیار	
۴- استاد مشاور دوم	دکتر زهرا گنجی نوری	استادیار	
۵- استاد داور اول	دکتر سید حسین حسینی	استادیار	
۶- استاد داور دوم	دکتر روزبه مؤذن زاده	استادیار	
۷- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر خلیل اژدری	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم به

خانواده مهربانم و هم‌ی نواندیشان و

آزادیشان

تشکر و قدردانی

پاس میکران خداوند را که با افاضه فرصتی جهت تحصیل علم، جان را به نور معرفت خویش مزین نموده و در این راه بیش از هر چیز قدر و منزلت انسان را بر خویش نمایان ساخت، که دانش با چیزی جز ذره‌ای در ترازه حکمت او.

در آغازین صفحات این پایان نامه بر خور واجب می دانم از زحمات پدر و مادرم که در طول زندگی و دوران تحصیل همراه و مشوقم و با ایثار و از خودگذشتگی و تحمل زحمات این راه را یاری ام نمودند قدر دانی کنم.

پاس میکران ثار اساتید فرهیخته و فرزانه، جناب آقای دکتر صد امام قلی زاده و جناب آقای دکتر علاء محسن کرمی و اساتید مشاور جناب آقای دکتر مهدی دلقندی و سرکار خانم دکتر زهرا کنجی نوروزی نمایم که سخاوتمندانده اندیشه‌های گرانبه‌ای و راهنمایی‌های دقیق خود را در امر اجرای تحقیق حاضر مبذول داشته‌اند.

همچنین از داوران محترم که زحمت داورای این تحقیق را بر عهده گرفته‌اند، کمال تشکر و امتنان را دارم.

تعهد نامه

اینجانب محمدعلی رحیمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه شبیه سازی سیلاب شهری شهر شاهرود با استفاده از مدل SWMM

تحت راهنمایی جناب آقای دکتر صمد امامقلی زاده متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .
-

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

-چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین رویدادهای اقلیمی و جدی‌ترین بلایای خطرناک طبیعی است که جوامع بشری را تهدید می‌کند. امروزه توسعه شهری سبب تغییر کاربری اراضی شده که در پی آن سطوح نفوذناپذیر جای سطوح نفوذپذیر را می‌گیرد. این امر سبب می‌شود آب کمتری به زمین نفوذ کند و دبی اوج و حجم رواناب ناشی از بارش افزایش پیدا کند که خطرات جانی و مالی زیادی را در سطح شهر دارد که بایستی این رواناب‌ها کنترل شوند. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از مدل SWMM به شبیه‌سازی رواناب سیلاب شهر شاهرود پرداخته شد. برای پیش‌بینی رواناب با این مدل ابتدا حوضه شهری به ۲۱ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد و سپس رواناب ناشی از ۸ بارش در ۴ زیرحوضه که دارای ۲ خروجی کنار کابل مغان و پایین‌دست دانشگاه صنعتی بود، اندازه‌گیری شد. پارامترهای ورودی به مدل عرض معادل زیرحوضه، مساحت زیرحوضه، ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر، ذخیره چالاب سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر، درصد سطوح مناطق نفوذناپذیر و شیب متوسط زیر حوضه در نظر گرفته شد. برای واسنجی مدل از ۵ رخداد بارش در تاریخ‌های ۱۳۹۹/۱/۲۲، ۱۳۹۹/۱/۲۳ (عصر)، ۱۳۹۹/۲/۴، ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) و ۱۳۹۹/۲/۱۴ و برای اعتبارسنجی مدل از ۳ رخداد بارش در تاریخ‌های ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح)، ۱۳۹۹/۲/۷ و ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) استفاده شد. سپس مدل با شاخص‌های آماره $RMSE$ ، $NRMSE$ ، MAE و R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل توانسته است در مرحله واسنجی دبی جریان در کابل مغان با $R^2=0/94$ ، $RMSE=0/25$ ، $NRMSE=0/3$ و $MAE=0/16$ و پایین‌دست دانشگاه صنعتی را با $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/14$ ، $NRMSE=0/27$ و $MAE=0/08$ و در مرحله اعتبارسنجی دبی جریان را در کابل مغان با $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/17$ ، $NRMSE=0/22$ و $MAE=0/12$ و پایین‌دست دانشگاه صنعتی را با $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/18$ ، $NRMSE=0/23$ و $MAE=0/12$ برآورد کند. همچنین نتایج نشان داد که مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی سیلاب دارد. پارامترهای ورودی به ترتیب ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالاب سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر و درصد سطوح مناطق نفوذناپذیر حساس‌ترین پارامترهایی هستند که بیش‌ترین تاثیر را بر روی دبی اوج و حجم رواناب دارند. همچنین علاوه بر آن قابلیت شبکه‌های انتقال آب‌های سطحی اصلی در زیرحوضه‌ها با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سال با استفاده از مدل SWMM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برخی کانال‌های زهکش با دوره بازگشت‌های بزرگتر از ۵ سال توانایی عبور حجم جریان آب را ندارند و باعث آبرفتگی معابر و خیابان‌ها می‌شود که می‌توان با استفاده از همین مدل کانال‌های زهکش را اصلاح نمود.

کلمات کلیدی: سیلاب شهری، نرم افزار SWMM، رواناب، دبی اوج، شهر شاهرود

فهرست

عنوان	شماره صفحه
فصل اول.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- بیان مسئله.....	۳
۱-۳- ضرورت انجام تحقیق.....	۳
۱-۴- اهداف تحقیق.....	۴
۱-۵- فرضیات تحقق.....	۴
فصل دوم (سابقه تحقیق).....	۷
۲-۱- مقدمه.....	۸
۲-۲- سابقه تحقیق.....	۸
۲-۳- جمع بندی.....	۱۳
فصل سوم (مواد و روش ها).....	۱۵
۳-۱- مقدمه.....	۱۶
۳-۲- موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه.....	۱۶
۳-۳- مدل SWMM (Storm Water Management Model).....	۱۸
۳-۴- داده ها و اطلاعات مدل.....	۱۸
۳-۵- تقسیم بندی منطقه مورد مطالعاتی به واحدهای هیدرولوژیک.....	۱۹
۳-۶- اطلاعات هواشناسی.....	۲۲
۳-۷- طبقه بندی اقلیمی.....	۲۳
۳-۸- عرض حوضه.....	۲۳
۳-۹- شیب متوسط حوضه.....	۲۴

۳-۱۰- تعیین درصد مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر.....	۲۴
۳-۱۱- تعیین ضریب مانینگ برای سطوح نفوذناپذیر، نفوذپذیر و کانال‌ها.....	۲۵
۳-۱۲- مقادیر ذخیره چالاب مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر.....	۲۶
۳-۱۳- معادله رواناب و نفوذ سطحی.....	۲۷
۳-۱۴- اطلاعات مورد نیاز اتصالات.....	۲۹
۳-۱۵- اطلاعات مربوط به مجاری.....	۲۹
۳-۱۶- اطلاعات هیدرولیکی در مدل.....	۲۹
۳-۱۷- وارد کردن پارامترها و اجرای مدل SWMM.....	۳۲
۳-۱۸- واسنجی مدل SWMM.....	۳۲
۳-۱۹- اعتبار سنجی مدل SWMM.....	۳۲
۳-۲۰- بارش طرح.....	۳۳
۳-۲۱- محاسبه زمان تمرکز.....	۳۴
۳-۲۱-۱- رابطه‌ی کالیفرنیا.....	۳۴
۳-۲۱-۲- رابطه‌ی کریچ.....	۳۴
۳-۲۲- تعیین منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی (IDF).....	۳۴
۳-فصل چهارم (نتایج و بحث).....	۳۷
۴-۱- مقدمه.....	۳۸
۴-۲- تعیین زیرحوضه‌های مورد مطالعه.....	۳۸
۴-۳- مشخصات کانال.....	۳۹
۴-۴- مشخصات گره‌ها.....	۴۰
۴-۵- نتایج واسنجی.....	۴۲
۴-۶- نتایج اعتبارسنجی.....	۵۲

۵۷.....	۴-۷-بارش طرح.....
۷۵.....	-فصل پنجم (نتیجه گیری و پیشنهادات).....
۷۶.....	۵-۱-مقدمه.....
۷۶.....	۵-۲-نتیجه گیری.....
۷۷.....	۵-۳-پشنهادات.....
۷۹.....	-منابع و ماخذ.....

جدول (۱-۳)	مشخصات زیر حوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیک.....	۲۱
جدول (۲-۳)	طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن.....	۲۳
جدول (۳-۳)	مقادیر ضریب زبری مانینگ (n) (راهنمای مدل).....	۲۵
جدول (۴-۳)	مقادیر ضریب زبری مانینگ برای کانال‌ها.....	۲۶
جدول (۵-۳)	مقادیر ارتفاع ذخیره چالابی در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر (mm) در راهنمای نرم افزار (روسمن، ۲۰۰۹).....	۲۷
جدول (۶-۳)	طبقه‌بندی خاک‌های حوضه بر حسب نفوذپذیری.....	۲۸
جدول (۷-۳)	شماره منحنی (CN) برای حوضه‌های مختلف (بهبهانی، ۱۳۸۸).....	۲۸
جدول (۸-۳)	رویدادهای بارش انتخابی از ایستگاه سینوپتیک شاهرود.....	۳۱
جدول (۹-۳)	ضرایب ثابت رابطه قهرمان و همکاران (۱۳۸۳).....	۳۵
جدول (۱۰-۳)	ضرایب ثابت رابطه قهرمان و همکاران (۱۳۸۳).....	۳۵
جدول (۱-۴)	مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها.....	۳۹
جدول (۲-۴)	مشخصات کانال‌های زهکش.....	۴۰
جدول (۳-۴)	اطلاعات گره‌ها.....	۴۲
جدول (۴-۴)	دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM.....	۴۲
جدول (۵-۴)	مقادیر پارامترهای اولیه و بهینه شده نتایج اجرای واسنجی مدل SWMM.....	۴۳
جدول (۶-۴)	مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۴
جدول (۷-۴)	مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله واسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۴۷
جدول (۸-۴)	شاخص‌های آماری مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۵۰
جدول (۹-۴)	شاخص‌های آماری مرحله واسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۵۱

جدول (۴-۱۰) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان.....	۵۲
جدول (۴-۱۱) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله اعتبارسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۵۳
جدول (۴-۱۲) شاخص های آماری مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان.....	۵۶
جدول (۴-۱۳) شاخص های آماری مرحله اعتبارسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۵۷
جدول (۴-۱۴) زمان تمرکز بدست آمده به روش های مختلف.....	۵۸
جدول (۴-۱۵) مقدار شدت بارش دوره بازگشت های مختلف با تداوم ۶۰ دقیقه ای.....	۵۸
جدول (۴-۱۶) مقدار بارش دوره بازگشت های مختلف با تداوم ۶۰ دقیقه ای.....	۵۹
جدول (۴-۱۷) دبی های اوج با دوره بازگشت های مختلف خروجی کابل مغان.....	۶۷
جدول (۴-۱۸) دبی های اوج با دوره بازگشت های مختلف خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۶۸
جدول (۴-۱۹) حجم رواناب حوضه شهر شاهرود با دوره بازگشت های مختلف.....	۷۳

شکل (۱-۳) منطقه مورد مطالعه.....	۱۷
شکل (۲-۳) تقسیم بندی زیرحوضه ها.....	۲۰
شکل (۳-۳) تقسیم بندی زیر حوضه های (۴، ۵، ۷ و ۸) به زیرحوضه های کوچکتر.....	۲۲
شکل (۴-۳) خروجی کابل مغان.....	۳۰
شکل (۵-۳) خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی.....	۳۱
شکل (۱-۴) زیرحوضه های مورد مطالعه.....	۳۸
شکل (۲-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۲ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۵
شکل (۳-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۶
شکل (۴-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۴ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۶
شکل (۵-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۷
شکل (۶-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۱۴ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان.....	۴۷
شکل (۷-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۲ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود.....	۴۸
شکل (۸-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود.....	۴۸
شکل (۹-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۴ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود.....	۴۹

- شکل (۴-۱۰) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۴۹
- شکل (۴-۱۱) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۱۴ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۵۰
- شکل (۴-۱۲) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان..... ۵۳
- شکل (۴-۱۳) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۷ در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان..... ۵۴
- شکل (۴-۱۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان..... ۵۴
- شکل (۴-۱۵) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی..... ۵۵
- شکل (۴-۱۶) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۷ در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی..... ۵۵
- شکل (۴-۱۷) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی..... ۵۶
- شکل (۴-۱۸) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲ ساله خروجی کابل مغان..... ۵۹
- شکل (۴-۱۹) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۰
- شکل (۴-۲۰) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۰
- شکل (۴-۲۱) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۵ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۱
- شکل (۴-۲۲) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۰ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۱
- شکل (۴-۲۳) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۵ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۲
- شکل (۴-۲۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۲
- شکل (۴-۲۵) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله خروجی کابل مغان..... ۶۳
- شکل (۴-۲۶) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۳

- شکل (۴-۲۷) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۴
- شکل (۴-۲۸) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۴
- شکل (۴-۲۹) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۵
- شکل (۴-۳۰) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۵
- شکل (۴-۳۱) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۶
- شکل (۴-۳۲) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۶
- شکل (۴-۳۳) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی..... ۶۷
- شکل (۴-۳۴) ظرفیت کانال C2 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۶۸
- شکل (۴-۳۵) ظرفیت کانال C3 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۶۹
- شکل (۴-۳۶) ظرفیت کانال C5 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۶۹
- شکل (۴-۳۷) ظرفیت کانال C7 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۷۰
- شکل (۴-۳۸) ظرفیت کانال C8 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۷۰
- شکل (۴-۳۹) ظرفیت کانال C6 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۷۱
- شکل (۴-۴۰) ظرفیت کانال C12 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۷۱
- شکل (۴-۴۱) ظرفیت کانال C21 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی..... ۷۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

سیل یکی از مهم‌ترین رویدادهای اقلیمی و جدی‌ترین بلایای خطرناک طبیعی است که جوامع بشری را تهدید می‌کند. دلایل عمده وقوع سیل را به طور کلی می‌توان به سه دسته عوامل انسانی، عوامل جوی و عوامل زمینی تقسیم بندی کرد. در بیشتر موارد تاثیر انسان سبب تخریب محیط زیست شده که موجب تشدید اثرات عوامل طبیعی در موقع وقوع سیل می‌شود. از عوامل اصلی جاری شدن سیل در شهرها بارش نزولات جوی با شدت بالا و به صورت طولانی است که دو حالت را در پی دارد. حالت اول لبریز شدن شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی و حالت دوم زهکش اصلی یا رودخانه طغیان کرده، لبریز شده و اراضی کنار را غرقاب می‌کند (داس و همکاران، ۲۰۱۳). با توسعه شهرنشینی سیلاب‌های گسترده سبب خسارت‌های جانی و مالی فراوان و آثار مخرب بر حوضه شهری شده است (نازیف، ۲۰۱۰). شهری شدن فرآیندی است که در طی آن اراضی طبیعی و کشاورزی به مناطق ساخته دست بشر تبدیل می‌شود و برنامه‌ریزی برای توسعه و گسترش شهرها در درجه اول نیازمند شناخت زیر بنای شهری است. حوضه‌های شهری، با تمرکز بالای جمعیت با تغییر کاربری اراضی از کشاورزی به شهرسازی باعث شده که سطوح نفوذناپذیر با افزایش خیابان‌ها، پیاده‌روها و پشت‌بام‌ها افزایش یابد (لئوپولد، ۱۹۶۸). بسترهای طبیعی به‌طور معمول توانایی جذب و انتقال مقدار قابل توجهی از رواناب‌های ایجاد شده را دارند اما با تغییر کاربری اراضی فرصت نفوذ آب به درون زمین کاهش می‌یابد (کندرلیک و همکاران، ۲۰۰۴). با گسترش سطوح نفوذناپذیر تعادل آبی طبیعی بهم خورده و سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و کاهش زمان تمرکز می‌شود (آرتینا و همکاران، ۱۹۹۷). هنگامی که بارش‌هایی با شدت زیاد رخ دهد که بیش‌تر از حد توان جذب گیاهان و خاک باشد، کانال‌ها پتانسیل عبور رواناب را ندارند (خالقی، ۲۰۱۷)، که در نهایت دبی پیک و حجم آب بالا رفته که سبب آب‌گرفتگی معابر، آلودگی منابع آبی و کاهش تغذیه سفره‌های زیر زمینی می‌شود. البته باید توجه داشت که پیچیدگی‌های محیط شهری و زیر ساخت‌های مربوط به زهکشی تاثیر زیادی بر تشکیل رواناب سطحی دارد

(رادمهر، ۲۰۱۰). در حوضه‌های غیرشهری (طبیعی و بکر) حدود ۲۵ درصد و در حوضه‌های شهری حدود ۹۰ درصد از بارندگی تبدیل به رواناب می‌شود (هابر و همکاران، ۱۹۹۲).

۱-۲- بیان مسئله

با توسعه شهرها و تبدیل مناطق بکر به مناطق شهری فرصت نفوذ آب به داخل زمین به شدت کاهش پیدا می‌کند این امر سبب آن شده که رواناب با حجم و سرعت بیشتری وارد جوی‌ها و کانال‌های زهکشی شود (وولیمن، ۲۰۰۵). در نتیجه سیستم زهکشی ظرفیت عبور آن حجم آب را ندارد و سبب می‌شود که آب به داخل خیابان و معابر رفته و آبگرفتگی ایجاد می‌شود (سازیان، ۱۳۹۵). تاکنون تلاش‌های بسیار زیادی در سطح جهان برای مدل‌سازی سیستم‌های زهکشی جهت جمع‌آوری رواناب جاری در حوضه‌های شهری صورت گرفته است که منجر به تهیه مدل‌های نرم افزاری شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه زهکشی شهری شده است (شولر، ۱۹۷۸).

مدل‌سازی رواناب‌های شهری را باید از دو جنبه مورد بررسی را قرار داد:

۱- از نظر هیدرولیکی : وقتی که جریان‌های آب وارد مجاری روباز و شبکه‌های زهکش زیرزمینی می‌شود در مسیر حرکت جریان آب شرایط فیزیکی شبکه انتقال نظیر ضریب زبری، سطح مقطع جریان، شیب کف آبراهه و شعاع هیدرولیکی باید مورد بررسی قرار گیرد.

۲- از نظر هیدرولوژیکی : در هنگام بارندگی پارامترهای مختلفی باید اندازه‌گیری شود. در مدل‌سازی حوضه‌های آبخیز مقدار رواناب که چه مقدار از بارندگی در خاک نفوذ کرده و چه مقدار تبدیل به رواناب می‌شود.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

بیشتر شهرها درون حوضه‌های آبخیز قرار دارند که می‌بایست از لحاظ هیدرولوژی و هیدرولیکی که نسبت به حوضه‌های طبیعی از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند مورد بررسی قرار گیرند. در مناطق شهری با افزایش روز

افزون جمعیت، ساخت و ساز توسط انسان بیشتر شده که در پی آن سطوح نفوذناپذیر افزایش می‌یابد. هنگام بارندگی حجم رواناب افزایش می‌یابد که به علت عدم صحیح طراحی ابعاد کانال‌های انتقال آب مقدار رواناب بیشتر از ظرفیت کانال‌ها می‌باشد که منجر به آبگرفتگی خیابان‌ها و معابر می‌شود. آبگرفتگی که خسارات جانی و مالی زیادی به بار می‌آورد ضروری است که برای پیش‌بینی مقدار رواناب و مهار کردن آن تحقیقاتی انجام گیرد.

محدوده مورد مطالعه برای این تحقیق شهرستان شاهرود انتخاب شد. شهرستان شاهرود در دامنه کوه و محل عبور سیلاب‌های فصلی قرار گرفته است و با توجه به اینکه در فصول مختلف سال بارش‌هایی با شدت زیاد رخ می‌دهد سبب آبگرفتگی خیابان‌ها در نقاط مختلف شهر می‌شود. از این رو شبیه‌سازی رواناب‌ها برای جلوگیری از بروز این مشکلات و کنترل سیلاب‌ها و استفاده بهینه از آب‌های سطحی در این تحقیق مدنظر گرفته شده است.

۱-۴- اهداف تحقیق

۱- شبیه‌سازی رواناب با استفاده از نرم افزار SWMM

۲- بررسی شبکه‌های موجود برای جمع‌آوری آب‌های سطحی

۳- تعیین نقاط بحرانی در هنگام بارندگی

۴- برآورد دبی‌های اوج زیر حوضه‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف با کمک نرم افزار SWMM

۵- تفسیر دبی‌های اوج در خروجی‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف

۶- دستیابی به بهترین روش برای کنترل آب‌های سطحی

۱-۵- فرضیات تحقیق

مدیریت رواناب در مناطق شهری به علت تنوع و پیچیدگی استفاده از زمین و فعالیت‌های گوناگون انسان که سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر شده یک امر پیچیده و دشوار است (چیو و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین به علت عدم دقت کافی در طراحی اصولی شبکه‌های جمع‌آوری رواناب سطحی این شبکه‌ها توان انتقال رواناب‌ها به خارج از شهر نداشته و هنگام بارندگی باعث آبگرفتگی معابر می‌گردد (تاج‌بخش و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو فرضیات در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- شبکه زهکشی فعلی امکان انتقال رواناب ناشی از بارندگی را دارد.

۲- مدل SWMM قادر به شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب تولید شده در سطح منطقه مورد مطالعه است.

۳- با مدل SWMM می‌توان ابعاد صحیح و دقیق‌تر کانال‌های انتقال آب در سطح شهر را طراحی نمود.

فصل دوم

سابقہ تحقیق

۲-۱- مقدمه

سیلاب‌ها در نواحی شهری آسیب‌های زیادی وارد می‌کنند. تغییرات کاربری اراضی، ساخت و سازهای غیر اصولی، سیستم زهکشی نامناسب و افزایش سطوح نفوذناپذیر نقش مهمی در وقوع خطر سیلاب در مناطق شهری دارند (صابتی، ۲۰۱۱). برای کنترل آب‌های سطحی ناشی از بارندگی به یک برنامه‌ریزی و طراحی دقیق نیاز است. برای طراحی درست باید میزان رواناب شهری به درستی برآورد شود (روسمان، ۲۰۰۹). مهندسان در سال‌های اخیر از مدل‌های متعدد بارش-رواناب کامپیوتری برای پیش‌بینی رواناب استفاده کرده‌اند، از جمله مدل‌ها می‌توان به MIDUSS، RISURSIM، URBAN و SWMM اشاره کرد. مدل SWMM یک نرم افزار قدرتمند برای پیش‌بینی بارش-رواناب می‌باشد (جیروناس و همکاران، ۲۰۱۰). در این فصل به مرور تحقیقات انجام شده با مدل بارش-رواناب SWMM جهت شبیه‌سازی رواناب ناشی از بارندگی‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۲- سابقه تحقیق

اسماعیل‌پور علمداری (۱۳۹۳) شبیه‌سازی سیلاب شهر بابل را با نرم افزار SWMM و روش SCS انجام داد. شبیه‌سازی با مدل SWMM نشان داد که زهکشی موجود توانایی بارش با طرح ۶ ساعته و دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله را ندارند و باعث آبگرفتگی خیابان‌ها و معابر می‌شود. همچنین با مقایسه بین دو مدل SWMM و روش SCS به این نتیجه دست یافت که مدل SWMM دبی حداکثر جریان در هر زیر حوضه را شبیه‌سازی کرده ولی روش SCS فقط دبی پیک در نقطه تمرکز حوضه را پیش‌بینی می‌کند در نتیجه روش SWMM برای برآورد و پیش‌بینی سیلاب شهری عملکرد بهتری نسبت به SCS را دارد.

بدیعی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) برای شبیه‌سازی رواناب سطحی در شهر گرگان مدل هیدرولوژیکی هیدرولیکی SWMM را به کار گرفتند. بدین منظور چهار واقعه بارندگی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که دبی اوج و حجم

جریان شبیه‌سازی شده با مدل انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد. از این رو نتیجه گرفتند مدل توانایی خوبی برای شبیه‌سازی رواناب سطحی دارد.

کبارفرد و همکاران (۱۳۹۵) با کمک مدل SWMM به ارزیابی قطعیت با کمک روش GLUE پرداختند. نتایج ارزشیابی نشان داد پارامترهای ورودی درصد مناطق نفوذناپذیر و ضریب مانینگ سطوح نفوذناپذیر به عنوان پارامترهای حساس و تاثیرگذار بر شبیه‌سازی مدل شناخته شدند.

اروند و همکاران (۱۳۹۶) کنترل سیلاب شهری و یافتن بهترین روش مدیریت سیلاب در شهر نیشابور را به کمک مدل SWMM بررسی کردند. برای کالیبراسیون نرم افزار از ۶ بارش و برای اعتبار سنجی از ۳ بارش استفاده نمودند. همچنین با به کارگیری ۷ سناریوی روش‌های مدیریت رواناب (بایوریتنشن، ماندبیولوژیکی، ترانسه نفوذ، سنگفرش نفوذپذیر، بشکه باران، باغ باران و ادغام BMPها) را انتخاب کردند. نتایج نشان داد که مدل SWMM سیلاب شهری را به خوبی پیش‌بینی می‌کند و سناریوی ترانسه نفوذ، سنگفرش متخلخل و بایوریتنشن بیشترین کارایی در کاهش حجم رواناب را دارد.

کیانی و همکاران (۱۳۹۶) با مدل SWMM شبیه‌سازی سیلاب در منطقه ۱۲ تهران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تاثیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تاثیر در ایجاد دبی‌های پیک دارند و همچنین مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی سیلاب و مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی در مناطق شهری را دارد.

زراعت کار و همکاران (۱۳۹۶) با کمک مدل SWMM راه‌کارهای مختلف جهت کاهش رواناب ناشی از بارش و آلودگی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش‌های توسعه کم اثر پشت بام سبز و بشکه باران به ترتیب بیش‌ترین اثر در کاهش رواناب خروجی و آلودگی در حوضه دارد.

رشیدپور و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل تک بعدی MIKE SWMM رواناب شهر بابلسر را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد با توجه به اینکه مقدار RMSE کم می‌باشد مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی هیدروگراف دارد و همچنین با کمتر بودن مقدار BIAS از ۲۰ درصد می‌تواند حجم جریان و دبی اوج سیلاب را به خوبی برآورد کند.

شهبازی و همکاران (۱۳۹۶) موثرترین پارامترهای ورودی به مدل SWMM را بررسی کردند. بدین منظور برای مقدار اولیه تعداد ۱۰ پارامتر شامل درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، زمان تمرکز، شماره منحنی (CN)، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر و درصد مناطق نفوذپذیر بدون ذخیره سطحی در نظر گرفته شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی از سه واقعه بارندگی استفاده کردند. نتایج نشان داد که حساس‌ترین پارامتر درصد سطوح نفوذناپذیر و کم‌اثرترین پارامتر مربوط به ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر است و همچنین انطباق خوبی بین آبدهی و عمق رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. از این رو مدل توانایی خوبی برای پیش‌بینی خطر آبگرفتگی و طراحی برای رفع آبگرفتگی دارد. طاعت‌پور و همکاران (۱۳۹۶) برای ارزیابی کارایی کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی از مدل SWMM استفاده کردند. بدین منظور ابتدا با سه واقعه بارندگی مدل را مورد اعتبار سنجی قرار دادند. نتایج نشان داد که دبی اوج و حجم سیلاب شبیه‌سازی شده انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد و همچنین کانال‌های موجود کارایی لازم را ندارند و بارش با دوره بازگشت‌های مختلف باعث آبگرفتگی معابر و خیابان‌ها می‌شود.

باقلانی و همکاران (۱۳۹۸) با به کارگیری مدل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی SWMM بارش-رواناب شهر ایلام را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی شده انطباق خوبی با مشاهداتی دارد و مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی سیلاب را دارد. آن‌ها همچنین با انجام تحلیل حساسیت عوامل موثر بر سیلاب شهری شهر ایلام را پارامترهایی از جمله کافی نبودن ابعاد کانال، افزایش مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذپذیر، شیب، مساحت، عرض معادل و ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر ذکر کردند.

عینلو و همکاران (۱۳۹۷) اثر تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری بر تغییرات دبی را با نرم افزار SWMM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد صحت‌سنجی و واسنجی تطابق خوبی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی دارد و همچنین توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به سطوح شهری سبب افزایش دبی پیک رواناب شده است.

آرمان و همکاران (۱۳۹۸) با مدل SWMM شبیه‌سازی رواناب سطحی شهر ایزه را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل از ۳ رخداد بارش که از ۲ رخداد بارش برای صحت‌سنجی و ۱ رخداد بارش برای اعتبارسنجی استفاده کردند. همچنین نتایج صحت‌سنجی و اعتبارسنجی با سه معیار NASH، BIAS و RMSE ارزیابی شد. نتایج نشان داد که انطباق خوبی بین دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد و با شبیه‌سازی بارش دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نقاط آبگرفتگی در سطح شهر مشخص شد.

یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۸) با به کارگیری مدل SWMM رواناب منطقه تهران را شبیه‌سازی کردند. برای اعتبار سنجی از ۵ واقعه بارندگی استفاده کردند. نتایج بدست آمده از واسنجی نشان داد انطباق خوبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد و همچنین از این مدل می‌توان برای طراحی‌های مناسب سیستم‌های زهکشی استفاده کرد.

سلوالینگام و همکاران (۱۹۷۸) برای طراحی سیستم‌زهکشی جریان سیلابی آبخیز سنگاپور از مدل‌های روندیابی RORB و SWMM استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هر دو مدل توانایی خوبی برای شبیه‌سازی دارند اما مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب‌ها خطای کمتری داشته و قابل قبول‌تر است.

هسو و همکاران (۲۰۰۰) به منظور کنترل سیلاب شهری در حوضه شهری چین تایپه از تلفیق مدل SWMM و پخشیدگی جریان سطحی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل ترکیب، ابزار مناسبی برای آنالیز سیلاب شهری می‌باشد.

تائه و همکاران (۲۰۰۵) با کمک مدل SWMM رواناب ناشی از بارش‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف را در حوضه‌های شهری شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد با افزایش فراوانی باران طرح، ضریب زبری مجاری فاضلاب و شیب آن‌ها افزایش می‌یابد و پارامترهای رواناب سطحی کاهش می‌یابد.

اسکاتا (۲۰۰۶) برای طراحی فاضلاب شهری از مدل SWMM استفاده نمود. وی اظهار داشت از مدل SWMM علاوه بر جریان‌های سطحی می‌توان برای جریان‌های زیرزمینی نیز از آن استفاده کرد.

جانگ و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات توسعه شهری بر میزان و حجم رواناب شهری را با مدل SWMM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که حجم رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با یکدیگر انطباق خوبی دارند و در نتیجه راه کار قابل قبولی برای مدیریت سیلاب شهری می‌باشد.

الویت و تروس‌دیل (۲۰۰۷) توانایی قابلیت‌های مدل‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از بین مدل موجود که امروز به کار می‌رود مدل SWMM و MOUSE را به عنوان بهترین مدل‌ها پیشنهاد کردند.

پارک و همکاران (۲۰۰۸) با مدل SWMM شبیه‌سازی هیدروگراف جریان و حجم بار آلاینده‌های شبکه زهکشی فاضلاب‌ها را بررسی نمودند. نتایج نشان داد مدل حجم رواناب و دبی اوج را به خوبی شبیه‌سازی کرده است.

یو و همکاران (۲۰۱۴) شبیه‌سازی رواناب شهری شهر جینان را با مدل SWMM انجام دادند. آن‌ها برای اعتبارسنجی و واسنجی مدل ۱۴ واقعه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی سیلاب در شهرهای بزرگ را دارد.

جیانگ و همکاران (۲۰۱۵) شبیه‌سازی سیلاب شهری در شهر دونگوان در جنوب چین را با مدل SWMM انجام دادند. نتایج نشان داد برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله سیل اتفاق خواهد افتاد و باعث آبگرفتگی خیابان‌ها شده ولی با دوره بازگشت یک ساله سیلاب و آبگرفتگی اتفاق نخواهد افتاد.

مشیو و همکاران (۲۰۱۶) عدم قطعیت پارامترهای ورودی به مدل SWMM را برای شهر پکن در چین با استفاده از روش GLUE مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دو پارامتر زبری کانال و سطح غیر قابل نفوذ از مهم‌ترین پارامترهای ورودی مدل SWMM می‌باشند و همچنین روش GLUE یک ابزار قدرتمند برای تجزیه و تحلیل پارامترها و عدم اطمینان است.

بک و همکاران (۲۰۱۷) به برآورد رواناب حاصل از رگبارهای تندری در حوضه دریاچه تاهو در کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد رواناب شبیه‌سازی شده انطباق خوبی با واقعیت دارد. در ضمن آن‌ها روش‌های BMP را برای کاهش میزان رواناب در این مناطق پیشنهاد کردند.

۲-۳- جمع بندی

با توجه به بررسی‌های بعمل آمده مدل SWMM در برآورد سیلاب شهری خیلی موفق عمل کرده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد تا به حال تحقیقی در زمینه پیش‌بینی و کنترل رواناب ناشی از بارندگی در شهر شاهرود انجام نشده است لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی رواناب شهر شاهرود از مدل SWMM استفاده گردید.

فصل سوم

مواد و روش

۳-۱- مقدمه

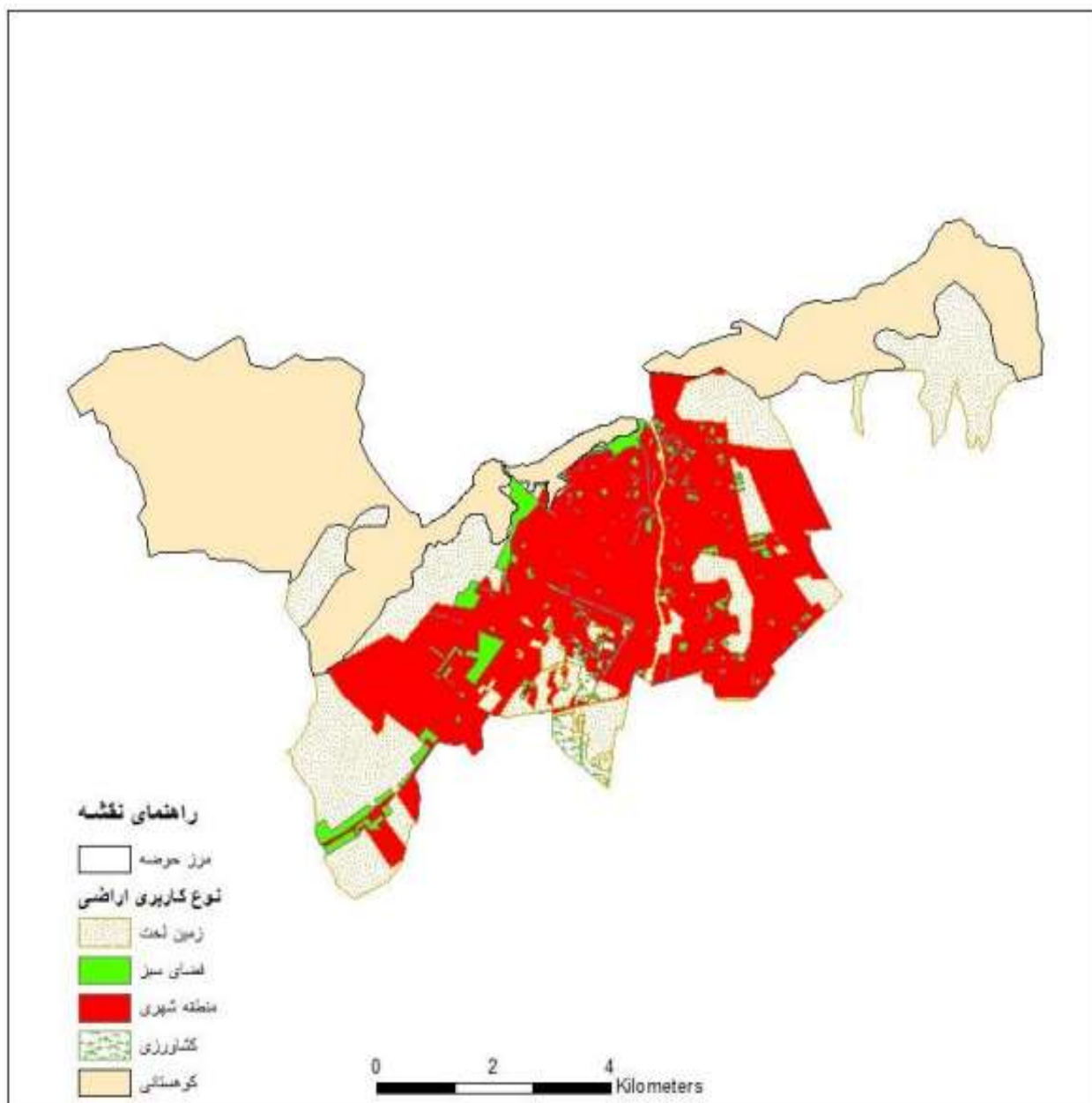
در این مطالعه حوضه درون شهری شهر شاهرود برای شبیه سازی رواناب‌های ناشی از بارندگی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا پارامترهای هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوضه از جمله خصوصیات فیزیکی و پارامترهای هواشناسی وارد مدل می‌شود و پس از شبیه‌سازی مرحله واسنجی و اعتبار سنجی صورت می‌گیرد و در نهایت شبکه زهکشی با دوره بازگشت‌های مختلف بررسی می‌شود.

۳-۲- موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهر شاهرود با مساحت ۵۲۰۰ هکتار و جمعیت بالغ بر ۱۵۰۰۰۰ نفر طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ و موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرضی و ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه طولی از نصف‌النهار گرینویچ و ارتفاعی معادل ۱۳۸۰ متر از سطح دریا در شمال استان سمنان قرار دارد. این شهر از شمال به استان گلستان (شهرهای آزادشهر و گرگان)، از سمت شرق به شهر میامی، از سمت جنوب به استان خراسان جنوبی (شهر طبس) و استان اصفهان (شهر نائین) از سمت غرب به شهر دامغان محدود می‌شود. شهرستان شاهرود یکی از شهرهای به اصطلاح چهار فصل ایران می‌باشد. آب و هوای این شهر به نسبت پستی و بلندی و نزدیکی به کویر و رشته کوه البرز متغیر می‌باشد که به طور کلی آب و هوای آن معتدل سرد است. متوسط درجه حرارت ۱۵ درجه سانتیگراد و بارندگی ۱۵۲ میلی‌متر در سال را دارد.

در این پژوهش مناطق مورد مطالعه از حوضه به نحوی انتخاب شد که بتوان نتایج را به کل حوضه شهری تعمیم داد. از این رو مناطقی که سطوح نفوذناپذیر بیشتر (مکان‌هایی با تراکم جمعیت زیاد و ساختمان‌های اداری) و مناطقی که سطوح نفوذپذیر (زمین‌های طبیعی) بیشتری دارند انتخاب شد. در نهایت قسمتی از منطقه مرکزی شهر که درصد سطوح نفوذناپذیری بیشتر و قسمتی از جنوب و جنوب غربی که سطوح نفوذپذیری بیشتر دارند

انتخاب شد. قابل ذکر است که مناطق انتخاب شده در زیرحوضه‌های متفاوت قرار گرفته که دارای زهکش جدا می‌باشند که می‌توان نتایج را بهتر و دقیق‌تر به کل شهر تعمیم داد (شکل ۳-۱).



شکل (۳-۱) منطقه مورد مطالعه

۳-۳-مدل^۱ SWMM

مدل SWMM یا مدل مدیریت رواناب سطحی نخستین بار در سال ۱۹۷۱ توسط اداره حفاظت از محیط زیست آمریکا ارائه شده که تاکنون چندین بار ارتقا پیدا کرده است که در این تحقیق از نسخه ۵.۱ آن استفاده گردید. مدل SMMM یک مدل پویای فرآیند شبیه‌سازی بارش-رواناب است که هم برای مدلسازی تک رخداد و هم برای شبیه‌سازی بلند مدت (پیوسته) کمی و کیفی رواناب شهری به کار می‌رود که توانایی بیشتری برای پیش‌بینی کمی نسبت به کیفی دارد. شبیه‌سازی کمی در این مدل طی دو مرحله هیدرولوژیکی و هیدرولیکی انجام می‌شود. در مرحله هیدرولوژیکی پارامترهای ورودی از جمله بارش، تبخیر، ذوب برف، ذخیره سطحی مناطق، نفوذ، تبادل مجاری با آب‌های زیرزمینی و ضریب مانینگ مناطق وارد مدل شده که مقدار رواناب را محاسبه می‌کند. در مرحله هیدرولیکی مدل با توجه به نتایج هیدرولوژیکی، رواناب‌ها را در خروجی‌ها شبیه‌سازی کرده و مقدار عمق آب در کانال‌های زهکش نیز قابل روندیابی می‌باشد. قسمت کیفی مدل که به تجمع و شست‌وشوی آلاینده‌ها و نحوه انتقال بار آلاینده‌ها توسط رواناب‌ها ارتباط دارد.

۳-۴-داده‌ها و اطلاعات مدل

داده‌ها و اطلاعات اولیه مدل SWMM برای شبیه‌سازی به شرح زیر تقسیم می‌شوند.

۱- پارامترهای فیزیوگرافی و مورفولوژی که شامل مساحت زیر حوضه، عرض معادل زیر حوضه، شیب زیر حوضه، درصد مناطق نفوذناپذیر، ضریب مانینگ سطوح نفوذناپذیر و سطوح نفوذپذیر، ذخیره سطحی مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر، درصد ذخیره سطحی مناطق نفوذناپذیر، زمان تمرکز و شماره منحنی که این اطلاعات با استفاده از GIS و بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری استخراج شده و به صورت دستی وارد نرم افزار می‌شود.

¹Storm Water Management Model

۲- پارامترهای هواشناسی شامل بارش، تبخیر و ذوب برف می‌باشد. پارامترهای برف از آنجایی که ذوب برف آهسته صورت گرفته، تاثیر چندانی در نتایج شبیه‌سازی ندارد به همین دلیل از آن صرف نظر می‌شود.

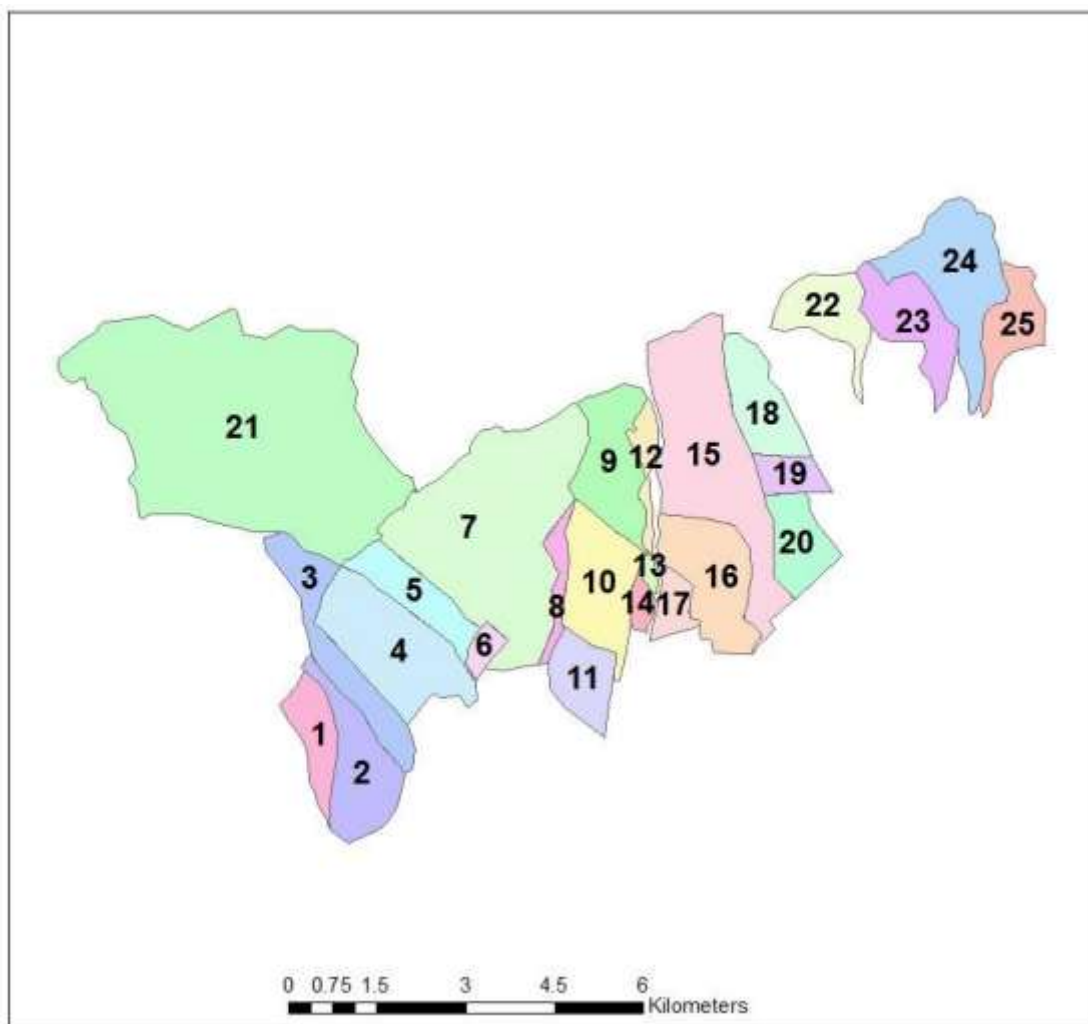
۳- پارامترهای مربوط به مجاری یا کانال‌ها که شامل ابعاد مجاری (طول، عرض و عمق)، ضریب زبری مانینگ و محل اتصالات وارد مدل می‌شود.

۳-۵- تقسیم بندی منطقه مورد مطالعاتی به واحدهای هیدرولوژیک

بدون شک یکی از مراحل اساسی در انجام مطالعات سیل، تقسیم بندی پهنه مطالعاتی به زیرحوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیک می‌باشد. واحد هیدرولوژیک عبارت است از محدوده‌ای از سطح حوضه آبرگیر که زهکش بالقوه طبیعی آن را یک رودخانه یا آبراهه مشخص، تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین عوامل در تفکیک هر محدوده مطالعاتی شامل وسعت اراضی، کاربری اراضی، شبکه آبراهه‌ای، وضعیت توپوگرافی و تراوایی زمین می‌باشد.

در این تحقیق تفکیک حوضه شهری به واحدهای هیدرولوژیک طی چند مرحله انجام شد. در مرحله‌ی اول ابتدا نقشه کاربری اراضی تهیه گردید و سپس با استفاده از نرم افزار GIS (Arc map) مرز اولیه در نظر گرفته شد (شکل ۳-۲)، در مرحله‌ی دوم با استفاده از نرم افزار Google Earth و تعیین نقاط ارتفاعی و شیب‌ها زیر حوضه‌ها دقیق‌تر مشخص گردید و در مرحله‌ی آخر با بازدید میدانی از کانال‌های انتقال آب سطح شهر زیرحوضه‌ها اصلاح و به ۲۵ زیر حوضه تقسیم بندی شد که ۵ زیرحوضه آن مربوط به حوضه‌های برون شهری و ۲۰ زیر حوضه مربوط به حوضه شهری می‌باشد (شکل ۳-۳). قابل ذکر است مرز زیرحوضه‌ها طوری بسته می‌شود که رواناب حاصل از سطح آنها از طریق نقاطی به نام اتصالات به یک کانال یا آبرو بریزد و بدین ترتیب نحوه حرکت آب روی سطح تعیین گردید.

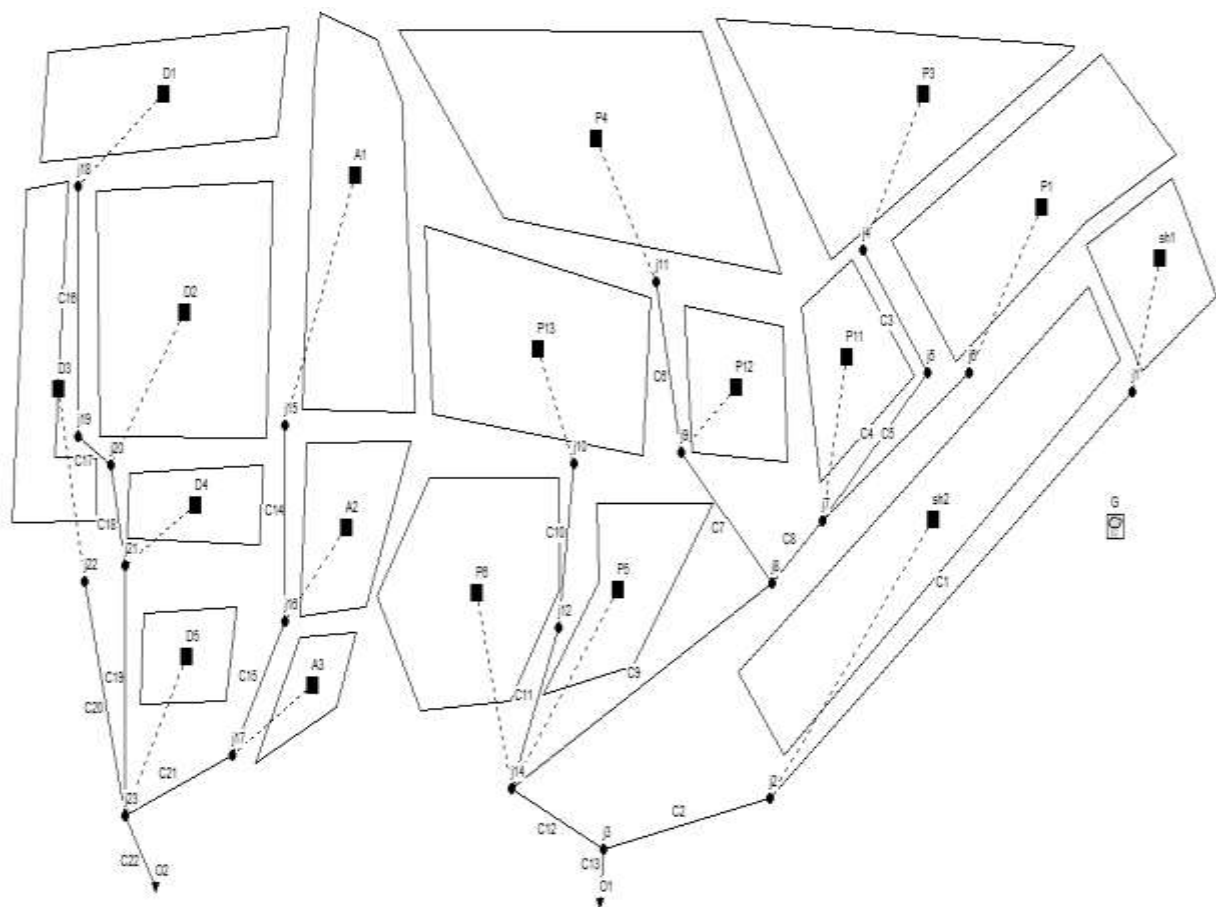
در این تحقیق ۴ زیر حوضه (۷، ۸، ۵ و ۴) با دو خروجی انتخاب شد برای بررسی دقیق‌تر، این زیرحوضه‌ها نیز به ۱۸ زیر حوضه تقسیم بندی شد (شکل ۳-۳).



شکل (۲-۳) تقسیم بندی زیر حوضه ها

جدول (۱-۳) مشخصات زیر حوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیک

شماره زیر حوضه	نام زیر حوضه	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)
۱	شرق میدان بار	۱۱۹/۶	۵/۹
۲	دانشگاه آزاد	۲۲۲/۳	۷/۹
۳	پست برق	۲۱۹/۱	۱۰/۶
۴	شهرک دانشگاه	۳۵۱/۵	۸/۴
۵	شهرک البرز	۱۴۹/۲	۷/۱
۶	امامت	۳۵/۹	۲/۵
۷	ژاندارمری	۸۳۷/۵	۱۴/۱
۸	شهنما	۵۶/۷	۶/۳
۹	جنوب پل میدان بسیج	۲۳۲/۱	۸
۱۰	شهید بهشتی	۲۴۵/۲	۷/۵
۱۱	غرب شهید بهشتی	۱۳۵/۱	۴/۸
۱۲	شمال پل میدان بسیج	۵۸/۲	۶
۱۳	شریعت	۱۳/۴	۱/۶
۱۴	نواب	۲۹/۴	۲/۴
۱۵	راه آهن	۵۷۰/۹	۱۴/۵
۱۶	میدان ولایت	۲۶۰/۴	۷/۴
۱۷	بعثت	۶۱/۸	۳/۹
۱۸	همت	۱۷۰/۴	۵/۹
۱۹	بهارستان	۶۹	۳/۶
۲۰	شاه قلی	۱۳۶/۶	۵
۲۱	۲۱	۱۲۸۵/۱	۱۷/۳
۲۲	۲۲	۱۵۸	۶/۹
۲۳	۲۳	۱۹۲/۳	۷/۴
۲۴	۲۴	۳۱۸/۳	۱۰/۱
۲۵	۲۵	۱۷۳/۹	۶/۶



شکل (۳-۳) تقسیم‌بندی زیر حوضه‌های (۴، ۵، ۷ و ۸) به زیرحوضه‌های کوچکتر

۳-۶-اطلاعات هواشناسی

به منظور ارزیابی آب و هوا و شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شاهرود استفاده گردید. این اطلاعات شامل بارش، سرعت باد، تبخیر و پارامترهای ذوب برف می‌باشد. با توجه به فرضیات نرم افزار بیشترین تاثیر در شبیه‌سازی پارامتر بارش می‌باشد و پارامترهای دما، تبخیر، سرعت باد و ذوب برف تاثیر و حساسیت چندانی ندارند. به علت عدم وجود اطلاعات دما از آن صرف نظر شد. پارامتر تبخیر، بارش‌ها در فصلی رخ داده که هوا سرد بوده و تبخیر قابل توجهی صورت نگرفته و صفر در نظر گرفته شد و پارامتر ذوب برف با توجه به اینکه برفی در حوضه نبوده و تاثیری نداشته است صفر در نظر گرفته شد و پارامتر بارش با توجه به اینکه

بارش‌های مشاهداتی هر ۱۰ دقیقه یک بار در خروجی حوضه اندازه‌گیری شد داده‌های بارش ۱۰ دقیقه‌ای که بهترین حالت برای شبیه‌سازی بارش-رواناب توسط مدل می‌باشد از ایستگاه هواشناسی دریافت شد.

۳-۷- طبقه بندی اقلیمی

دومارتن: برای تعیین آب و هوای سالانه منطقه مطالعاتی از رابطه دومارتن استفاده گردید (علیزاده، ۱۳۸۵).

دومارتن برای تعیین اقلیم منطقه معادله (۳-۱) را ارائه نموده است. جدول (۳-۲) طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن را نشان می‌دهد.

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (3-1)$$

که در این معادله، I ضریب دومارتن، P متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتیگراد است.

جدول (۳-۲) طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن	
اقلیم	ضریب دومارتن
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

با استفاده از داده های بارش سالانه ضریب دومارتن برابر با ۵/۹ محاسبه گردید، بنابراین اقلیم منطقه در گروه خشک قرار می‌گیرد.

۳-۸- عرض حوضه

از آنجایی که حوضه‌ها همیشه به شکل مربع یا مستطیل نیستند بایستی در این مدل از عرض حوضه معادل استفاده شود که با توجه به راهنمای مدل از عرض حوضه مستطیل معادل استفاده گردید. مستطیل معادل یکی از روش‌های قدیمی جهت نشان دادن شکل حوضه می‌باشد که مساحت و محیط آن با برابر با مساحت و محیط حوضه است و حتی‌الامکان طول مستطیل منطبق بر دو انتهای حوضه باشد.

چنانچه عرض معادل را با L نشان دهیم خواهیم داشت:

$$L = \frac{c\sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{c} \right)^2} \right] \quad (2-3)$$

c ضریب گراویلیوس که از رابطه (3-3) بدست می‌آید:

$$c = 0.282 \frac{P}{A} \quad (3-3)$$

که در روابط فوق A مساحت برحسب کیلومتر مربع و P محیط حوضه بر حسب کیلومتر می‌باشد.

۳-۹- شیب متوسط حوضه

شیب حوضه نقش بسزایی در مقدار نفوذ آب در خاک، مقدار رواناب و زمان تمرکز حوضه دارد. یکی از روش‌های محاسبه‌ی شیب زیر حوضه استفاده از شیب متوسط حوضه می‌باشد.

$$S = \frac{H_{up} - H_{down}}{L} \quad (4-3)$$

که در رابطه‌ی فوق S شیب متوسط حوضه، L طول زیر حوضه بر حسب متر، H_{up} ارتفاع بلندترین نقطه زیر حوضه و H_{down} ارتفاع پایین‌ترین نقطه حوضه است.

۳-۱۰- تعیین درصد مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر

تعیین درصد سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر در مقدار سیلاب (رواناب) حوضه نقش اساسی دارند. با استفاده از نقشه کاربری اراضی، مناطق مسکونی، خیابان‌ها، پیاده‌روها، فضای سبز و زمین‌های بایر مشخص شده که می‌توان با کمک نرم افزار GIS درصد سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر را تعیین کرد و در نهایت با بازدید میدانی درصدها اصلاح گردید.

۳-۱۱- تعیین ضریب مانینگ برای سطوح نفوذناپذیر، نفوذپذیر و کانال‌ها

ضریب زبری مانینگ کلیه عوامل موثر در مقاومت بستر و کانال در مقابل جریان را شامل می‌شود. در محاسبات هیدرولیکی ضریب زبری (n) با توجه به وضعیت منطقه و کانال‌ها باید تخمین زده شود. از جمله عوامل تاثیر گذار در ضریب مانینگ می‌توان به جنس سطوح (آسفالت، خاکی، چمن، اراضی مرتع و ...) و برای کانال‌ها که جنس کانال (بتنی، خاکی و ...) و همچنین مسیر کانال که صاف یا مارپیچ اشاره کرد. با توجه به شناخت عوامل تاثیر گذار، ضریب مانینگ را می‌توان با کمک جداول پیشنهاد شده تعیین کرد. در این پژوهش با بازدید میدانی و بررسی جنس سطوح و کانال‌ها ضریب زبری به کمک جداول تعیین شد.

جدول (۳-۳) مقادیر ضریب زبری مانینگ (n) (راهنمای مدل)

ضریب زبری (n)	جنس سطوح
۰/۰۱۱	آسفالت صاف (Smooth asphalt)
۰/۰۱۲	بتن صاف (Smooth concrete)
۰/۰۱۳	بتن معمولی (Ordinary concrete Lining)
۰/۰۱۳	چوبی با شرایط خوب (Good wood)
۰/۰۱۴	آجر با ملات سیمانی (Bnck with cement mortar)
۰/۰۱۵	سطوح سنگ فرش (Fallow soils)
	مناطق با خاک کشاورزی خوب (Cultvated soils)
۰/۰۶	کمتر از ۲۰ درصد پوشش لاشبرگ (Residue cover<20%)
۰/۱۷	بیشتر از ۲۰ درصد پوشش لاشبرگ (Residue cover>20%)
۰/۱۳	مراتع طبیعی (Rang)
	اراضی چمنزار (Grass)

۰/۱۵	چمنزار کوتاه (Short, prairie)
۰/۲۴	چمنزار فشرده (Dense)
	اراضی جنگلی (Woods)
۰/۴	اشکوب بوته‌ای تنگ (Light under brush)
۰/۸	اشکوب بوته‌ای متراکم (Dense under brush)

جدول (۳-۴) مقادیر ضریب زبری مانینگ برای کانال‌ها

نوع کانال	ضریب زبری (n)
کانال پوشش‌دار (Lined Channel)	
آسفالتی (Asphalt)	۰/۱۳-۰/۱۷
بتنی (Concreted)	۰/۰۳-۰/۱۱
گیاهی (Vegetal)	۰/۰۳-۰/۴
کانال حفر شده یا لایروبی شده (Excavated or dredged)	
بستر یکنواخت و مستقیم (Earth, straight and uniform)	۰/۰۳-۰/۲
بستر مارپیچ و غیر یکنواخت (fairly, Winding, Earth uniform)	۰/۰۴-۰/۲۵
بستر سنگی (Rack)	۰/۰۴۵-۰/۰۳
کانال‌های طبیعی (Natural channels)	
مقاطع نسبتاً منظم (Fairly regular section)	۰/۰۷-۰/۰۳
دارایی چالاب با مقاطع نامنظم (with section Irregular pools)	۰/۰۴-۰/۱

۳-۱۲- مقادیر ذخیره چالاب مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر

به بخشی از بارش که در فرورفتگی‌ها یا گودال‌ها و چاله‌های روی زمین باقی می‌ماند و تبدیل به رواناب نمی‌شود، ذخیره چالاب می‌گویند (صفوی، ۱۳۹۳). برای تعیین این پارامتر در هر زیر حوضه با توجه به عدم وجود هر گونه اطلاعات جهت واسنجی، از مقادیر توصیه شده در جدول (۳-۴)، توسط راهنمای نرم افزار برای کاربری‌های مختلف استفاده گردید.

جدول (۵-۳) مقادیر ارتفاع ذخیره چالابی در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر (mm) در راهنمای نرم افزار (روسمن، ۲۰۰۹)

نوع سطح	مقادیر ارتفاع ذخیره (mm)
سطوح نفوذناپذیر	۱/۲۷-۲/۵۴
چمن	۲/۵۴-۵/۰۸
مرتع	۵/۰۸
جنگل	۷/۶۲

۳-۱۳- معادله رواناب و نفوذ سطحی

زیر حوضه‌ها واحدهای هیدرولوژیکی هستند که از مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر تشکیل شده‌اند. زمانی که بارشی اتفاق می‌افتد مقداری از بارش در مناطق نفوذپذیر نفوذ کرده و مقداری از بارش تشکیل رواناب می‌دهد و در مناطق نفوذناپذیر که نفوذ صورت نمی‌گیرد خود به نواحی امکان ذخیره در فرورفتگی‌ها و بدون ذخیره سطحی تقسیم می‌شود. مقدار رواناب می‌تواند از خروجی هر زیرحوضه به طور مستقیم به خروجی حوضه انتقال پیدا کند یا می‌تواند در زیر حوضه دیگر روندیابی شود. میزان نفوذ در خاک به دو پارامتر سرعت نفوذ و مقدار نفوذ بستگی دارد که باید مورد بررسی قرار گیرد.

در مدل SWMM مقدار نفوذ در خاک را می‌توان با پنج روش هورتن، هورتن اصلاح شده، گرین آمپ، گرین آمپ اصلاح شده و شماره منحنی (SCS) مدل سازی کرد. در این پژوهش با توجه به اطلاعات در دسترس نقشه کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و مدت زمانی که خاک اشباع می‌شود برای محاسبه‌ی مقدار نفوذ از روش شماره منحنی (SCS) استفاده شد (بهبهانی، ۱۳۸۸).

روش منحنی نفوذ (SCS) توسط حفاظت خاک آمریکا پیشنهاد شده است که یک رابطه تجربی است امروزه کارایی زیادی برای محاسبه رواناب دارد که به کمک رابطه (۵-۳) محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (۵-۳)$$

در رابطه‌ی فوق R ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر، P ارتفاع بارندگی بر حسب میلی‌متر و S نگهداشت رطوبت در خاک است که به روش زیر بدست می‌آید:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۶-۳)$$

در رابطه فوق CN شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می‌باشد که از جداول (۵-۳) و (۶-۳) بدست می‌آید.

جدول (۶-۳) طبقه‌بندی خاک‌های حوضه بر حسب نفوذپذیری

گروه	حداقل نفوذپذیری (میلی متر در ساعت)
A	۷/۵-۱۱/۵
B	۳/۸-۷/۵
C	۱/۳-۳/۸
D	۰-۱/۳

جدول (۷-۳) شماره منحنی (CN) برای حوضه‌های مختلف (بهبهانی، ۱۳۸۸)

D	C	B	A	نوع پوشش
				مناطق شهری توسعه یافته (پارک‌ها، میادین و ...)
۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	شرایط ضعیف (پوشش گیاهی کمتر از ۵۰ درصد)
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	شرایط متوسط (پوشش گیاهی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد)
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	شرایط خوب (پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵ درصد)
				مناطق غیر قابل نفوذ (خیابان‌ها و جاده‌ها)
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	آسفالت
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	سنگ فرش
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	خاکی
				مناطق شهر بیابانی
۸۸	۸۵	۷۷	۶۳	بیابان‌های طبیعی (فقط بخش نفوذپذیر)
۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	بیابان‌های مصنوعی
				مناطق شهری

۹۵	۹۴	۹۲	۸۹	مناطق تجاری و اداری (مناطق متوسط نفوذناپذیر ۸۵ درصد)
۹۳	۹۱	۸۸	۷۱	مناطق صنعتی (مناطق متوسط نفوذناپذیر ۷۲ درصد)
مناطق مسکونی				
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	با متوسط قطعات کمتر از ۵۰۰ متر مربع و متوسط نفوذناپذیری ۶۵ درصد
۸۷	۸۳	۷۵	۶۱	با متوسط قطعات ۱۰۰۰ متر مربع و متوسط نفوذناپذیری ۳۸ درصد
۸۶	۸۱	۷۲	۵۷	با متوسط قطعات ۱۳۵۰ مترمربع و متوسط نفوذناپذیری ۳۰ درصد
۸۵	۸۰	۷۰	۵۴	با متوسط قطعات ۲۰۰۰ متر مربع و متوسط نفوذناپذیری ۲۵ درصد
۸۵	۷۹	۶۸	۵۱	با متوسط قطعات ۴۰۰۰ متر مربع و متوسط نفوذناپذیری ۲۰ درصد
۸۲	۷۷	۶۵	۴۶	با متوسط قطعات ۸۰۰۰ متر مربع و متوسط نفوذناپذیری ۱۲ درصد
۹۴	۹۱	۸۷	۷۷	مناطق توسعه یافته شهری تازه تسطیح شده (بخش نفوذناپذیر که پوشش گیاهی ندارد)

۳-۱۴- اطلاعات مورد نیاز اتصالات

گره‌ها (اتصالات) محل تقاطع دو کانال زهکش یا نقطه خروجی یک زیرحوضه را گویند که در شبکه زهکشی به آن منتهول نیز گفته می‌شود. مشخصات مربوط به این گره‌ها از طرق بازدید میدانی تعیین گردید. از جمله اطلاعات مورد نیاز رقوم کف و حداکثر عمق می‌باشد.

۳-۱۵- اطلاعات مربوط به مجاری

کانال‌های زهکش یا آبراهه‌ها که آب را بین گره‌ها انتقال می‌دهند. از جمله اطلاعات مورد نیاز کانال‌ها مشخصات هندسی، طول، ضریب زبری مانینگ، رقوم کف و شیب کانال آن‌ها است که با بازدید میدانی محاسبه شد.

۳-۱۶- اطلاعات هیدرولیکی در مدل

در هر حوضه‌ای با توجه به خصوصیات هیدرولیکی آن فرآیند بارش رواناب متفاوتی اتفاق می‌افتد. بنابراین مدل SWMM را باید با در نظر گرفتن خصوصیات هر حوضه تنظیم کرد. بدین منظور مدل را مورد واسنجی و اعتبار سنجی قرار دادیم. برای واسنجی و اعتبار سنجی مدل ۸ رخداد بارندگی در تاریخ‌های ۱۳۹۹/۱/۲۲، ۱۳۹۹/۱/۲۳، (شامل دو بارندگی صبح و عصر)، ۱۳۹۹/۲/۴، ۱۳۹۹/۲/۷، ۱۳۹۹/۲/۸ (شامل ۲ بارندگی صبح و عصر) و ۱۳۹۹/۲/۱۴ در خروجی زیر حوضه‌ها در دو نقطه‌ی مجزا یکی در بلوار ۴۸ متری کنار کابل مغان و دیگری پایین‌دست دانشگاه صنعتی اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۴ و ۳-۵).



شکل (۳-۴) خروجی کابل مغان



شکل (۳-۵) خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی

از آنجایی که در حوضه ایستگاه هیدرومتری جهت اندازه گیری دبی وجود نداشت در خروجی هر زیر حوضه به فواصل ۱۰ دقیقه یکبار عمق آب با شاخص مندرج و سرعت آب با دستگاه مولینه اندازه گیری شد.

رویدادهای بارش و تداوم آن‌ها در جدول (۳-۸) ارائه شده است. قابل ذکر است که از این پس رخدادها بر اساس شماره بارش بیان می‌شود.

جدول (۳-۸) رویدادهای بارش انتخابی از ایستگاه سینوپتیک شاهرود

رویداد	۱۳/۱/۲۲	۱۳/۱/۲۳	۱۳/۱/۲۳	۱۳/۲/۴	۱۳/۲/۸	۱۳/۲/۸	۱۳/۲/۷	۱۳/۲/۱۴
	۹۹	۹۹ صبح	عصر	۹۹	۹۹	صبح	۹۹	۹۹
شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
بارش								
بارش (m)	۵/۸	۲/۲	۳/۱	۱۱/۵	۲۳/۲	۷/۱	۲/۳	۳/۹
(m)								
تداوم (hr)	۲:۲۰	۰۰:۵۰	۰۰:۴۰	۳:۲۰	۰۱:۲۰	۰۰:۴۰	۰۰:۵۰	۱:۴۰

۳-۱۷- وارد کردن پارامترها و اجرای مدل SWMM

پس از وارد کردن خصوصیات فیزیکی حوضه و داده‌های تجمعی بارش با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و انتخاب موج دینامیکی برای روندیابی و انتخاب شماره منحنی نفوذ (SCS) مدل SWMM برای ۵ بارش اجرا شد.

۳-۱۸- واسنجی مدل SWMM

از نظر پژوهشگران واسنجی مدل‌های هیدرولیکی امر مهمی است که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. برای انجام فرآیند واسنجی مدل نظرات متفاوتی دارد، به طوری که بسیاری از محققان شروع آن را لازمه انجام یک مدلسازی خوب می‌دانند (بدیعی زاده و همکاران، ۱۳۹۱). واسنجی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که اثبات شود عملکرد مدل نزدیک به نتایج مشاهداتی است و نسبت به قبل از واسنجی مدل نتایج بهتری دارد. برای انجام واسنجی از پارامترهایی که بر زمان تمرکز تاثیر دارد استفاده شد که عبارت است از شیب حوضه، ضریب مانینگ مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، عمق چالاب در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر و عرض معادل حوضه (دوو و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش برای واسنجی مدل از ۵ رخداد بارش مشاهداتی اندازه‌گیری شده که شامل رخدادهای ۱، ۳، ۴، ۶ و ۸ می‌باشد، استفاده شد.

در این تحقیق با توجه به مطالعات گذشته، پارامترهای مهم که تاثیر و حساسیت بیشتری بر مدل دارند انتخاب شد. لذا با توجه به همگن بودن منطقه، ضرایب انتخابی برای هر حوضه با ضریب ثابت تغییر می‌کند به صورتی که از مقدار اولیه کسر یا اضافه می‌شود. به طور کلی و گسترده از همین روش در مدلسازی هیدرولیکی استفاده می‌شود (تمپرانو و همکاران، ۲۰۰۶).

۳-۱۹- اعتبارسنجی مدل SWMM

ارزیابی مدل با پارامترهایی که از طریق واسنجی اصلاح شده‌اند را اعتبارسنجی گویند. اگر مدلی، شبیه سازی خوبی در مرحله اعتبارسنجی داشته باشد، قادر خواهد بود که رخدادهای آینده را به خوبی پیش بینی کند (کیا، ۱۳۹۳). بدین منظور از ۳ رخداد بارش به شماره‌های (۲، ۵ و ۷) استفاده شد. همچنین برای ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

ضریب تعیین (R^2)، میانگین ریشه دوم مربعات خطا (RMSE)، RMSE نرمال شده (NRMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که روابط آن‌ها به ترتیب (۷-۳)، (۸-۳)، (۹-۳) و (۱۰-۳) می‌باشد.

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (7-3)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8-3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{X}} \quad (9-3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (10-3)$$

که در روابط فوق Y_i مقادیر مشاهداتی، X_i مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{X}$ میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{Y}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده و n تعداد سال‌های آماری مورد مطالعه است.

۳-۲۰- بارش طرح

باران طرح از نظر تئوری به دوره‌ای از یک بارندگی شدید همراه با باد گفته می‌شود که بتواند ارتفاع مشخصی را از نظر مقدار بارش تولید نماید و برای یک سازه آبی خطرناک باشد (علیزاده، ۱۳۸۵).

شدیدترین سیلاب مربوط به بارشی است که تداوم آن برابر با زمان تمرکز حوضه باشد. زمان تمرکز تابعی از خصوصیات فیزیکی حوضه می‌باشد. لذا برای محاسبه‌ی مقدار سیلاب حداکثر شدت بارندگی در تداوم‌هایی که مقدار آن برابر زمان تمرکز حوضه می‌باشد، ضروری است.

۳-۲۱-محاسبه زمان تمرکز

در این تحقیق برای محاسبه زمان تمرکز حوضه از دو رابطه‌ی کالیفرنیا و کریپیج استفاده شد که به شرح زیر می‌باشد.

۳-۲۱-۱-رابطه‌ی کالیفرنیا

$$T_c = (0.885 \frac{L^3}{H})^{0.385} \quad (۱۱-۳)$$

که در رابطه‌ی فوق T_c زمان تمرکز برحسب ساعت، L طول بزرگترین مسیر آبراهه بر حسب کیلومتر و H اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوضه بر حسب متر می‌باشد (مهدوی، ۱۳۸۸).

۳-۲۱-۲-رابطه‌ی کریپیج

$$T_c = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385} \quad (۱۲-۳)$$

که در رابطه‌ی فوق T_c زمان تمرکز برحسب دقیقه، L طول بزرگترین مسیر آبراهه بر حسب متر و S شیب مسیر آبراهه بر حسب متر می‌باشد (مهدوی، ۱۳۸۸).

۳-۲۲-تعیین منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی (IDF)

شدت بارندگی برای تعیین احتمالات وقوع یا دوره بازگشت‌های مختلف برای مدل‌های هیدرولیکی یا روش‌های که خصوصیات کمی و کیفی آب را بررسی می‌کنند الزامی است (دیاکونیس و همکاران، ۱۹۸۳). با داشتن منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی (IDF) می‌توان شدت بارندگی با یک تداوم مشخص را تعیین کرد زیرا سیل طرح بر اساس رگبار طرح بدست می‌آید و رگبار طرح دارای تداوم معینی است که بایستی شدن آن محاسبه شود. در این پژوهش برای محاسبه شدت بارندگی برای دوره بازگشت‌های مختلف، به علت عدم وجود منحنی‌های شدت،

مدت و فراوانی (IDF) در ایستگاه هواشناسی شاهرود از رابطه تجربی (۳-۱۳) و (۳-۱۴) استفاده شد (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۳).

$$R_t^T = At^B[a_1 + a_2 \ln(T - a_3)]R_{60}^{10} \quad (۳-۱۳)$$

$$R_{60}^{10} = e^{0.291}(R_{1440}^2)^{0.694} \quad (۳-۱۴)$$

که در روابط فوق t مدت بارندگی بر حسب دقیقه، T دوره بازگشت بر حسب سال، R_{60}^{10} مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال بر حسب میلی متر R_t^T مقدار باران t دقیقه‌ای مورد نظر با دوره بازگشت T سال، R_{1440}^2 میانگین حداکثر باران روزانه و A ، B ، a_1 ، a_2 و a_3 ضرایبی هستند که به ترتیب از جداول (۳-۹) و (۳-۱۰) تعیین می‌شوند.

جدول (۳-۹) ضرایب ثابت رابطه قهرمان و همکاران (۱۳۸۳)

محدوده مدت تداوم باران t (ساعت)	A	B
$1 \leq t$	۰/۱۲۹۹	۰/۴۹۵۲
$2 \leq t$	۰/۱۳۷۲	۰/۴۷۷۸
$9 \leq t$	۰/۱۵۸۹	۰/۴۳۶۱
$2 < t \leq 9$	۰/۲۰۰۹	۰/۳۹۳۷

جدول (۳-۱۰) ضرایب ثابت رابطه قهرمان و همکاران (۱۳۸۳)

محدوده تداوم باران(ساعت)					
> 2			≤ 2		
پارامتر	قهرمان و سپاس	قهرمان و سپاس	قهرمان و سپاس	قهرمان و سپاس	قهرمان و سپاس
	خواه ۱۳۶۹	خواه ۱۳۶۹	خواه ۱۳۶۹	خواه ۱۳۶۹	خواه ۱۳۶۹
a_1	۰/۴۰۵۵	۰/۴۴۱۱	۰/۴۶۰۸	۰/۴۹۹۸	۰/۵۵۶۵
a_2	۰/۲۶۳۶	۰/۲۴۹۵	۰/۲۳۴۹	۰/۲۲۹۳	۰/۲۲۲۴
a_3	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۷۵	۰/۸

فصل چہارم

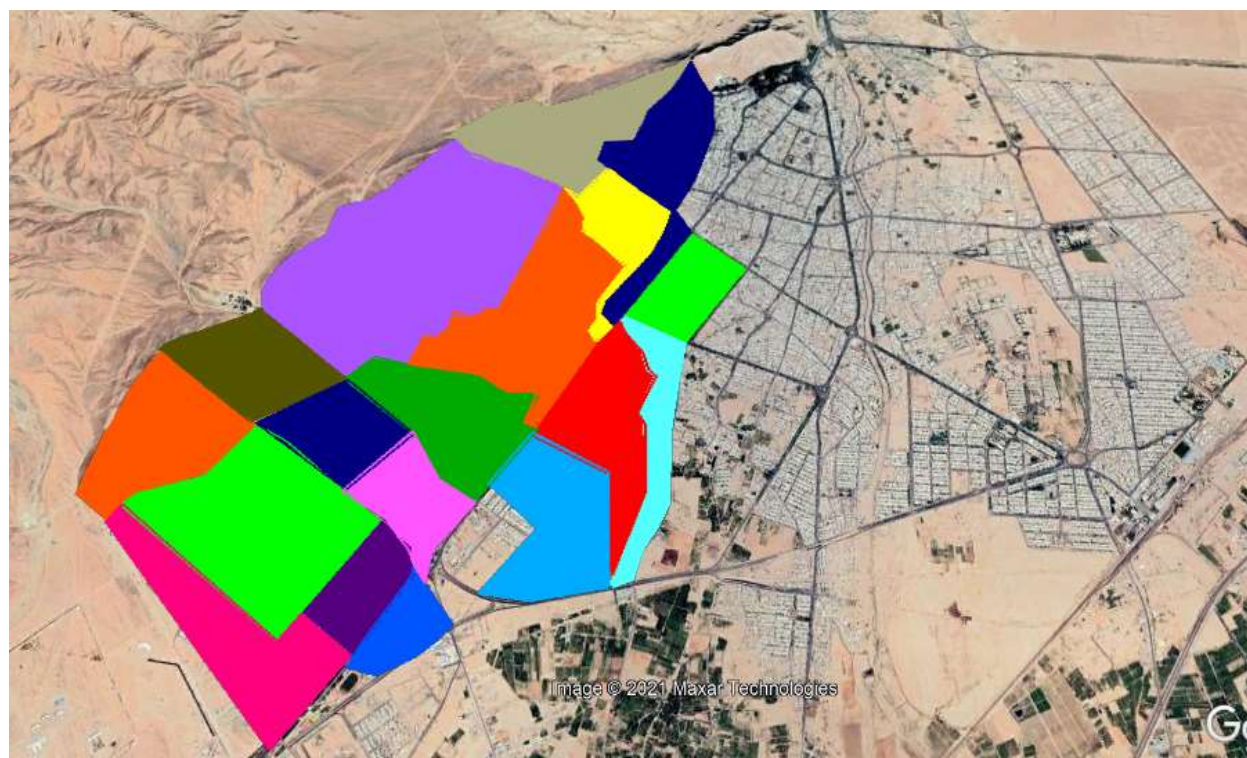
نتیجہ و بحث

۴-۱- مقدمه

هدف از این تحقیق شبیه‌سازی رواناب سطحی و عملکرد سیستم انتقال آب با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و روندیابی هیدرولیکی در مسیر کانال‌ها و سطوح شهر مورد مطالعه می‌باشد. در این فصل پس از وارد کردن داده‌ها در مدل SWMM شکل‌ها و جداول مربوط به مدلسازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و نتایج حاصل از واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWMM در ادامه ارائه شده است.

۴-۲- تعیین زیر حوضه‌های مورد مطالعه

تعیین دقیق مشخصات فیزیکی زیر حوضه‌ها از جمله مساحت، محیط، عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب و عمق چالاب جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب امری ضروری است. منطقه مورد مطالعه به ۱۸ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد، شکل (۴-۱).



شکل (۴-۱) زیر حوضه‌های مورد مطالعه

خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها در این مطالعه در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

جدول (۴-۱) مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها				
نام زیر حوضه	مساحت (هکتار)	عرض معادل (متر)	شیب متوسط (درصد)	درصد مناطق نفوذناپذیر
sh۱	۴۳	۶۱۸	۲	۷۰
sh۲	۳۶	۱۹۵/۶	۲	۴۰
P۱	۹۱/۵	۴۰۵/۶	۱۱	۴۸
P۳	۷۵	۳۹۷/۲	۱۳	۱۵
P۱۱	۳۸	۲۷۸/۴	۳	۷۰
P۴	۲۴۲	۱۵۲۵/۲	۱۸	۱۰
P۱۲	۱۳۷	۶۹۹/۶	۳.۵	۲۸
P۱۳	۷۳	۶۰۳/۶	۴	۳۸
P۵	۷۴/۵	۴۶۵/۶	۲	۳۰
P۶	۶۷	۵۵۸	۲	۴۰
A۱	۶۶	۵۹۴	۱۰	۱۰
A۲	۳۹	۶۳۹/۶	۲	۷۰
A۳	۳۸/۵	۴۱۲/۸	۱	۳۰
D۱	۶۷/۲	۷۶۸	۱۲	۱۰
D۲	۱۳۳	۱۰۴۵/۲	۲/۵	۵۰
D۳	۷۴	۳۹۷/۲	۳/۲	۳۵
D۴	۳۰	۴۹۴/۴	۱/۵	۲۰
D۵	۲۳	۴۱۰/۴	۱	۵۵

۴-۳- مشخصات کانال

با توجه به مرز زیرحوضه‌ها و بازدهای میدانی کانال‌های اصلی و تاثیرپذیر در انتقال آب شناسایی شد و مشخصات کانال‌ها شامل طول، عرض، شکل، ضریب مانینگ و گره بالادست و گره پایین دست تعیین و در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول (۴-۲) مشخصات کانال‌های زهکش

شماره کانال	شکل کانال	گره بالادست	گره پایین دست	طول (متر)	عرض (متر)	عمق (متر)	ضریب زبری مانینگ
C۱	مستطیل	z۱	z۲	۲۸۱۰	۰/۶	۰/۶	۰/۰۱۳
C۲	مستطیل	z۲	z۳	۱۶۰	۰/۸	۰/۶	۰/۰۱۳
C۳	مستطیل	z۴	z۵	۳۶۴	۱	۰/۶	۰/۰۱۳
C۴	مستطیل	z۵	z۷	۱۵۸۴	۱	۰/۸	۰/۰۱۳
C۵	مستطیل	z۶	z۷	۱۴۰	۱	۰/۴	۰/۰۱۳
C۶	مستطیل	z۱۱	z۹	۸۴۴	۰/۸	۰/۶	۰/۰۱۳
C۷	مستطیل	z۹	z۸	۱۹	۱	۱	۰/۰۱۳
C۸	مستطیل	z۷	z۸	۴۶۶	۱/۵	۰/۵	۰/۰۱۳
C۹	مستطیل	z۸	z۱۴	۱۶۶۰	۱/۵	۲	۰/۰۱۳
C۱۰	مستطیل	z۱۰	z۲۰	۶۵۵	۱	۰/۷	۰/۰۱۳
C۱۱	مستطیل	z۲۰	z۱۱	۷۴۰	۱/۵	۲	۰/۰۱۳
C۱۲	مستطیل	z۱۴	z۳	۵	۱/۵	۱/۲	۰/۰۱۳
C۱۳	مستطیل	z۳	O۱	۴۰	۱/۵	۲	۰/۰۱۳
C۱۴	مستطیل	z۱۵	z۱۶	۵۷۴	۱	۰/۸	۰/۰۱۳
C۱۵	مستطیل	z۱۶	z۱۷	۸۵۴	۱	۰/۹	۰/۰۱۳
C۱۶	مستطیل	z۱۸	z۱۹	۱۲۸۵	۲	۱/۵	۰/۰۱۳
C۱۷	مستطیل	z۱۹	z۲۰	۱۵۰	۲	۱	۰/۰۱۳
C۱۸	مستطیل	z۲۰	z۲۱	۵۱۸	۲	۱	۰/۰۱۳
C۱۹	مستطیل	z۲۱	z۲۳	۳۱۰	۲	۱/۵	۰/۰۱۳
C۲۰	مستطیل	z۲۲	z۲۳	۱۴۵۶	۱	۲	۰/۰۱۳
C۲۱	مستطیل	z۱۷	z۲۳	۷۵۵	۱	۱/۵	۰/۰۱۳
C۲۲	مستطیل	z۲۳	O۲	۴۰۰	۱/۵	۲	۰/۰۱۳

با توجه به اینکه جنس کانال‌های انتقال آب در منطقه مورد مطالعه غالباً از جنس بتن است، بر اساس توصیه دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، مقدار ۰/۰۱۳ به عنوان ضریب زبری کانال‌های انتقال آب موجود انتخاب شد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۱).

۴-۴- مشخصات گره‌ها

گره‌ها ارتباط کانال‌های زهکش با یکدیگر هستند که در فاضلاب شهری به آن‌ها منهول و در لوله‌ها به آن‌ها اتصالات گفته می‌شود. اطلاعات مربوط به گره‌ها که رقوم کف و عمق حداکثر می‌باشد با بازدید میدانی تعیین شد. این گره‌ها می‌تواند در خروجی زیرحوضه‌ها، ورودی یا خروجی کانال‌های اصلی قرار داشته باشد. مشخصات مربوط به گره‌ها در جدول (۳-۴) ارائه شده است.

جدول (۳-۴) اطلاعات گره‌ها

اسم گره	تراز گره (متر)	حداکثر عمق (متر)
ج۱	۱۳۴۲	۰/۶
ج۲	۱۳۰۹/۱	۰/۶
ج۳	۱۳۰۸/۲	۲
ج۴	۱۳۷۵	۰/۳
ج۵	۱۳۴۶/۹	۰/۸
ج۶	۱۳۴۲	۰/۴
ج۷	۱۳۴۰/۵	۰/۵
ج۸	۱۳۳۶/۵	۱
ج۹	۱۳۳۶/۹	۰/۶
ج۱۰	۱۳۴۰	۰/۷
ج۱۱	۱۳۵۱/۵	۰/۶
ج۱۲	۱۳۲۱	۲
ج۱۴	۱۳۰۸/۶	۱/۵
ج۱۵	۱۳۸۵	۰/۸
ج۱۶	۱۳۶۳/۷	۰/۹

۱	۱۳۳۵/۹	j۱۷
۱/۵	۱۳۹۸/۷	j۱۸
۱	۱۳۵۰	j۱۹
۱	۱۳۴۹/۳	j۲۰
۱/۵	۱۳۳۵/۹	j۲۱
۲	۱۳۳۵/۹	j۲۲
۱/۵	۱۳۲۴/۷	J۲۳
-	۱۳۰۸	O۱
-	۱۳۲۳/۱	O۲

۴-۵- نتایج واسنجی

برای واسنجی مدل SWMM از شش پارامتر که عبارت است از عرض معادل، ضریب مانینگ مناطق نفوذپذیر، ضریب مانینگ مناطق غیر قابل نفوذ، ذخیره چالاب مناطق نفوذ پذیر و ذخیره چالاب مناطق نفوذ ناپذیر و درصد سطوح نفوذناپذیری استفاده شد که با استفاده از اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بازدید میدانی بدست آمدند. دامنه تغییرات پارامترهای اولیه طبق مطالعات انجام شده در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول (۴-۴) دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM

پارامترهای کالیبره شده	محدوده تغییرات	منابع
ضریب مانینگ مناطق نفوذپذیر	۰/۰۲-۰/۸	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)
ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱۱-۰/۰۳۳	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)
ذخیره چالاب مناطق نفوذپذیر	۲/۵-۷(mm)	(تسیرینتز و حمید، ۱۹۹۸)
ذخیره چالاب مناطق نفوذناپذیر	۰/۳-۲/۵(mm)	(هابر و دیکسون، ۱۹۹۲)
درصد سطوح نفوذناپذیر	± ۳۰٪	(تمپرانو و همکاران، ۲۰۰۶)
عرض معادل	± ۱۰٪	(خالقی و همکاران، ۱۳۹۰)

مقادیر این پارامترها در زیرحوضه‌های مختلف متفاوت است، اما اعتقاد بر این است که خطاها نسبی در همه برابر می‌باشد. بنابراین تمام پارامترها در زیرحوضه‌ها به طور یکسان در واسنجی افزایش یا کاهش پیدا می‌کرد که مقادیر اولیه و بهینه در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

جدول (۴-۵) مقادیر پارامترهای اولیه و بهینه شده نتایج اجرای واسنجی مدل SWMM

پارامتر	مقادیر اولیه	مقادیر بهینه	میزان تغییر پارامتر
عرض معادل	برای هر زیرحوضه متفاوت است	جدول (۴-۱)	+ ۱۰٪
درصد سطوح نفوذناپذیر	برای هر زیرحوضه متفاوت است	جدول (۴-۱)	- ۱۰٪
ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱	۰/۰۰۹۵	- ۵٪
ضریب مانینگ مناطق نفوذپذیر	۰/۱۲	۰/۱۳	+ ۸/۳٪
ذخیره چالاب مناطق نفوذناپذیر	۲/۲	۲/۵	+ ۱۳/۶٪
ذخیره چالاب مناطق نفوذپذیر	۳/۱	۳/۵	+ ۱۲/۹٪

سپس با استفاده از مقادیر بهینه، جهت واسنجی مدل از ۵ رخداد ذکر شده از جدول (۴-۵) استفاده گردید و نتایج برای خروجی کابل مغان در جدول (۴-۶) و برای خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی در جدول (۴-۷) ارائه گردیده است.

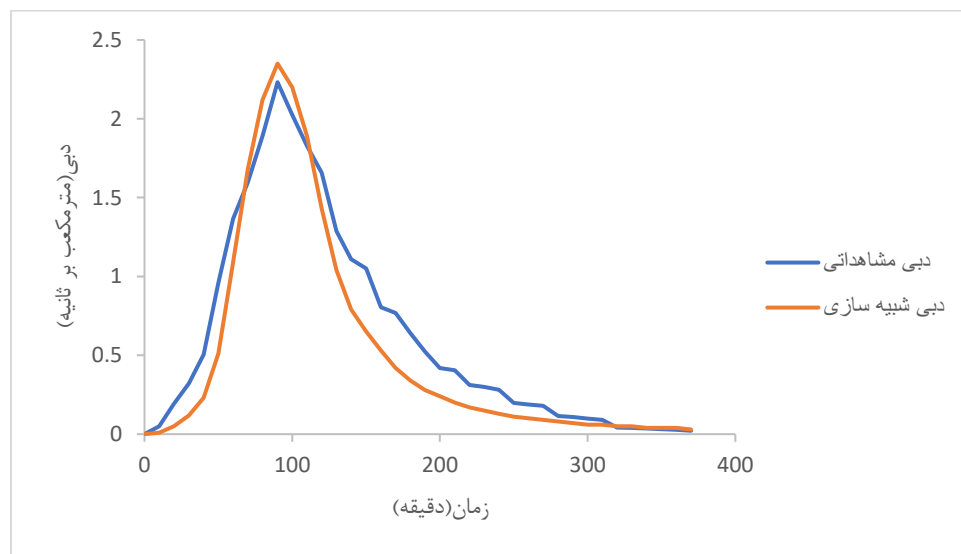
جدول (۴-۶) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان

پارامتر	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	اختلاف	حجم جریان (m^3)	اختلاف	رخداد
مشاهداتی	شبیه سازی	مشاهداتی	شبیه سازی	مشاهداتی	شبیه سازی
۱۳۹۹/۱/۲۲	۲/۲۳	۲/۳۵	۵/۴	۱۴۲۱۳/۲۵	۱۱۶۵۵
۱۳۹۹/۱/۲۳	۱/۱۵	۱/۱۷	۱/۷	۵۰۴۹	۴۳۷۷
عصر					
۱۳۹۹/۲/۴	۳/۵۳	۳/۶۸	۴/۲	۲۲۲۰۲/۱	۲۶۴۳۹
۱۳۹۹/۲/۸	۵/۱۳	۵/۵۱	۷/۴	۱۵۰۴۱/۲۵	۱۴۸۴۱
عصر					
۱۳۹۹/۲/۱۴	۱/۰۷	۱/۰۴	۲/۹	۶۵۱۴/۶۵	۶۵۶۴

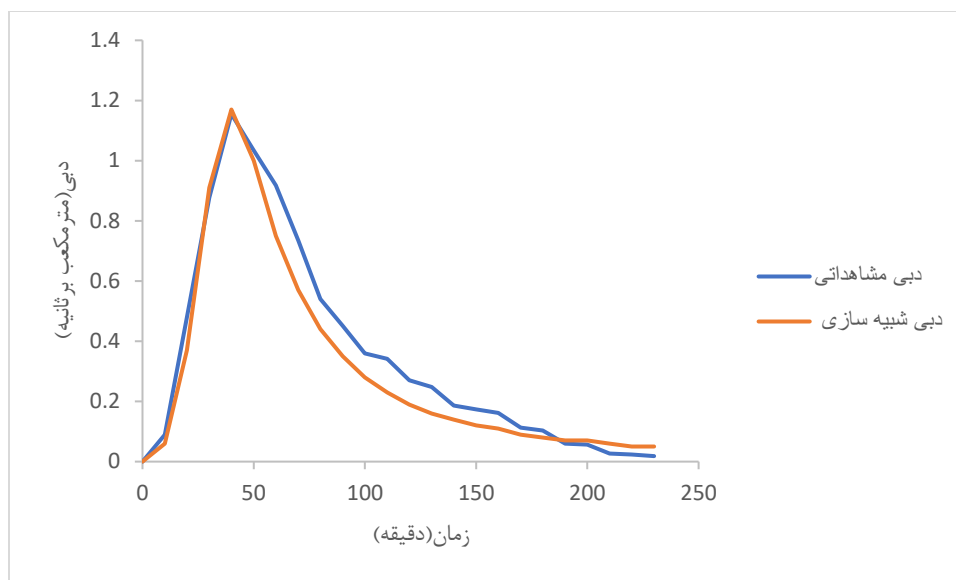
جدول (۴-۷) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله واسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی

پارامتر	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	اختلاف	حجم جریان (m^3)	اختلاف	رخداد
مشاهداتی	شبیه سازی	مشاهداتی	شبیه سازی	مشاهداتی	شبیه سازی
۱۳۹۹/۱/۲۲	۱/۴	۱/۵	۷/۱	۶۸۱۷/۸	۶۹۶۰
۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۶۹	۰/۷۲	۴/۳	۲۲۴۶/۴	۲۵۴۷
عصر					
۱۳۹۹/۲/۴	۲/۳۲	۲/۳	۰/۹	۱۵۲۸۸	۱۶۲۲۷
۱۳۹۹/۲/۸	۲/۳۹	۲/۸۵	۱۹/۲	۱۰۰۶۳/۲	۹۲۱۰
عصر					
۱۳۹۹/۲/۱۴	۰/۶۹	۰/۶۴	۷/۸	۳۷۴۲/۲	۳۹۰۳

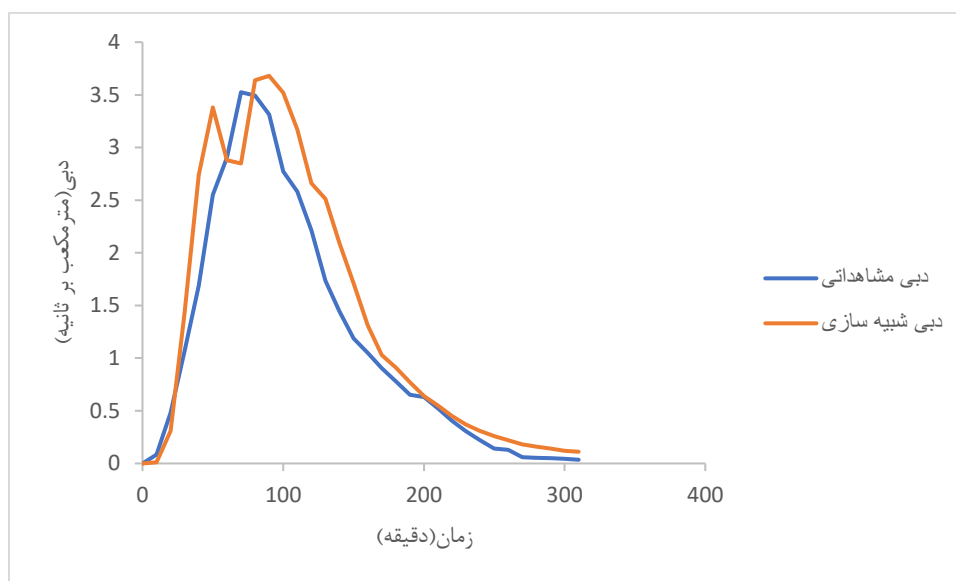
همانگونه که در جداول (۴-۶) و (۴-۷) مشاهده می‌شود میزان خطا در تمام بارش‌ها هم برای حجم جریان و هم برای دبی اوج در محدوده قابل قبولی است. در ادامه به مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی ناشی از مدل آورده شده است. شکل‌های (۴-۲ تا ۴-۶) مربوط به خروجی کابل مغان و شکل‌های (۴-۷ تا ۴-۱۱) مربوط به خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد.



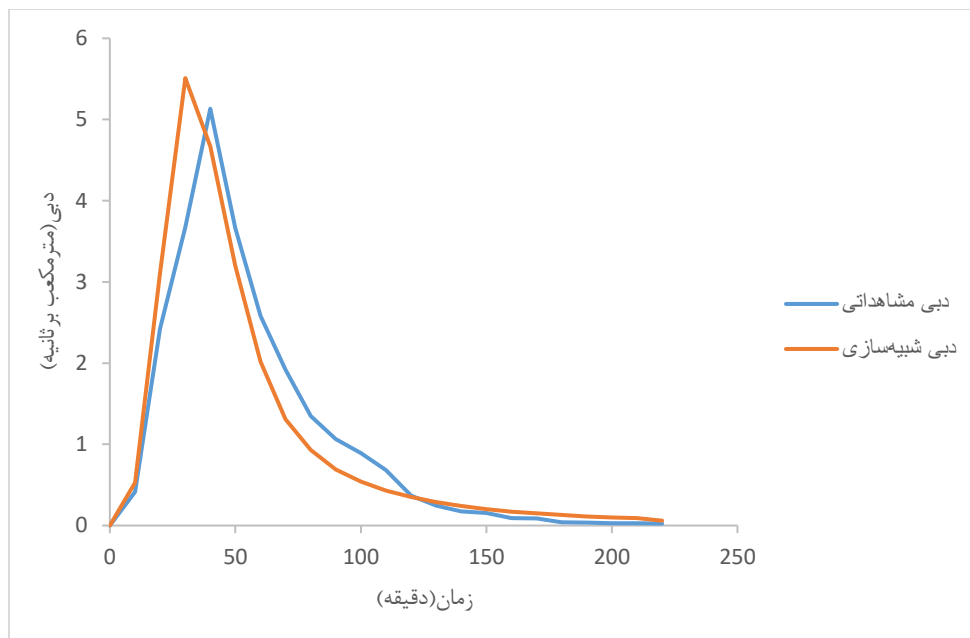
شکل (۴-۲) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۲ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان



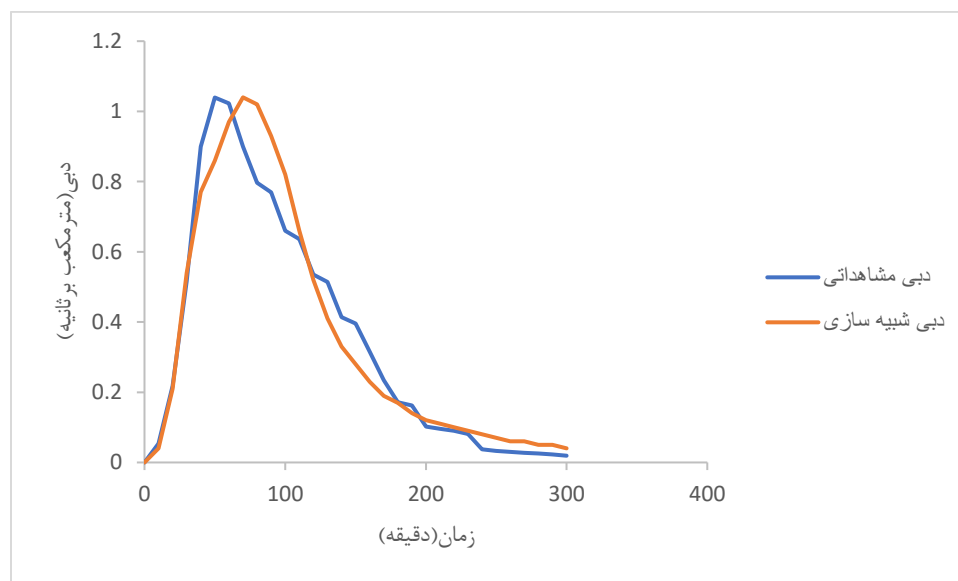
شکل (۳-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان



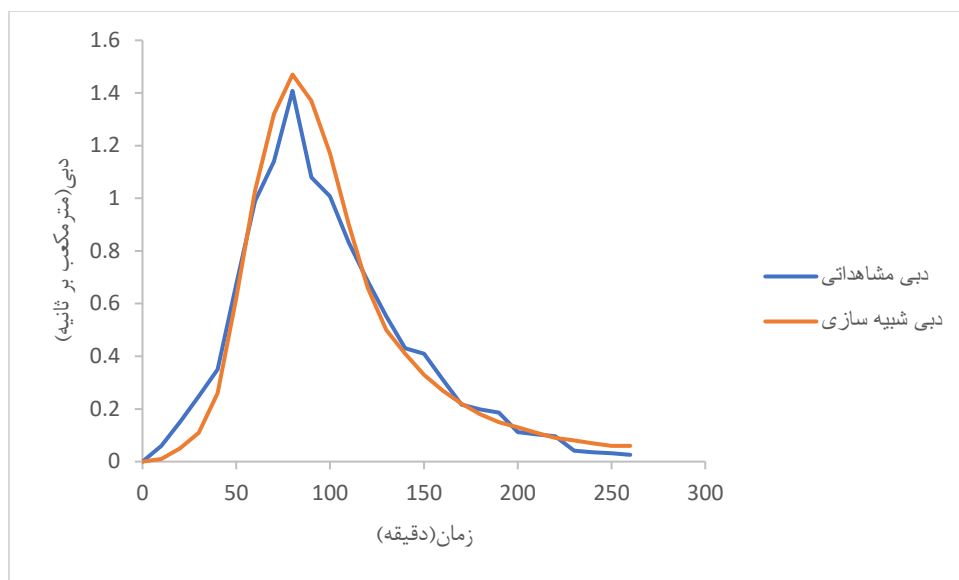
شکل (۴-۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۴ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان



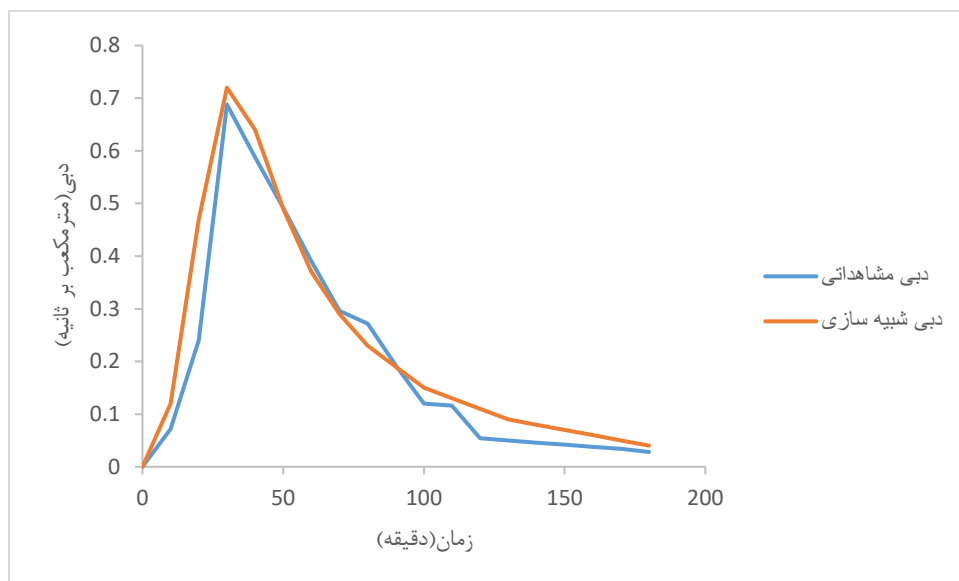
شکل (۴-۵) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان



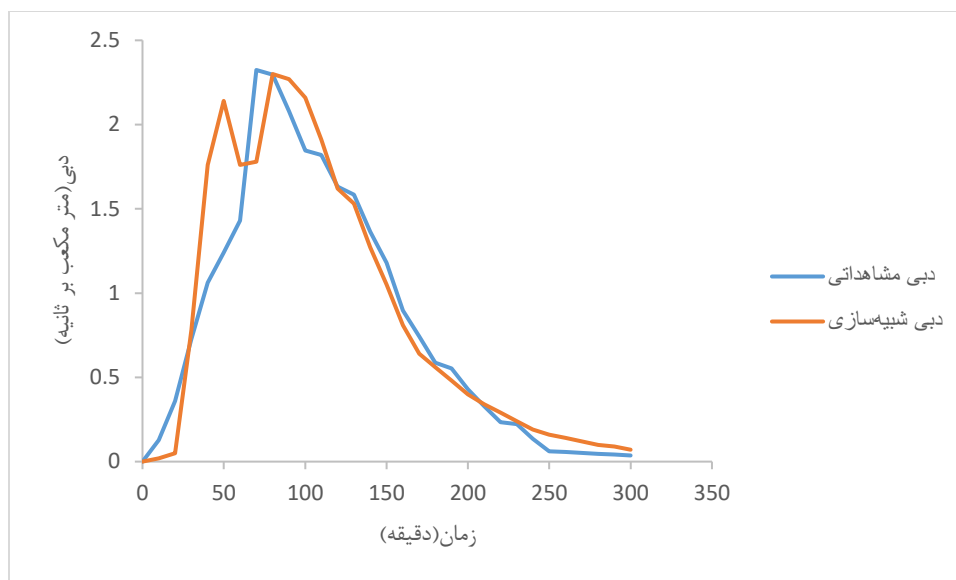
شکل (۴-۶) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۱۴ در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان



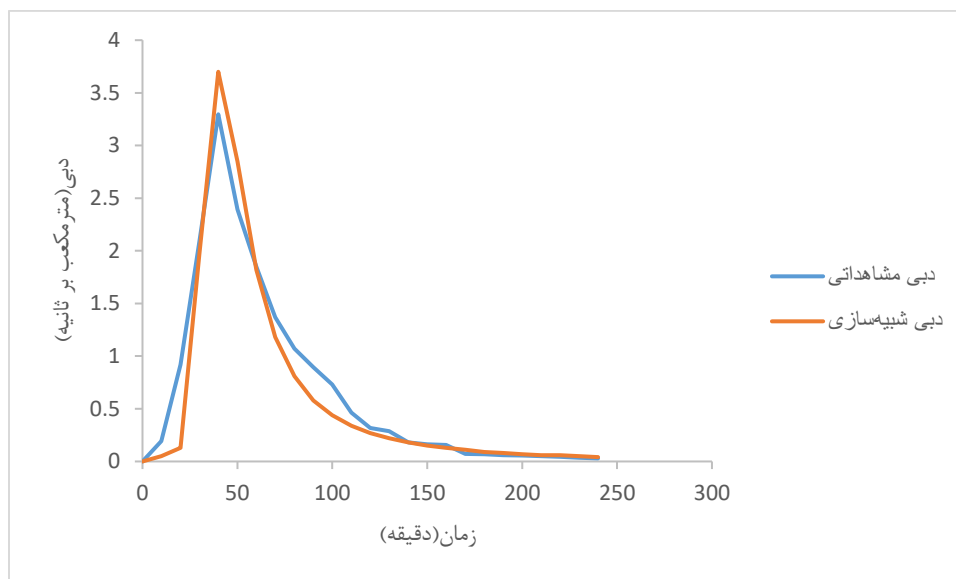
شکل (۷-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۲ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود



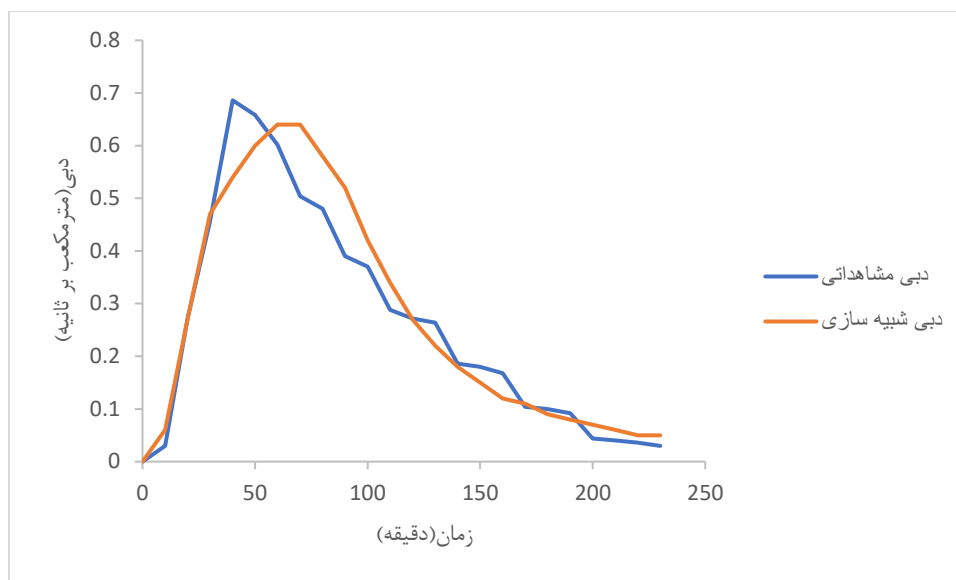
شکل (۸-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود



شکل (۹-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۴ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود



شکل (۱۰-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود



شکل (۴-۱۱) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۱۴ در مرحله واسنجی خروجی دانشگاه صنعتی شاهرود

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی دقت مدل SWMM در پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیک یک حوضه را فراهم می‌آورد. برای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی از پارامترهای خطای آماری RMSE، MAE و R^2 استفاده گردیده که در جدول (۴-۸) برای خروجی کابل مغان و جدول (۴-۹) برای خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی ارائه شده است.

جدول (۴-۸) شاخص‌های آماری مرحله واسنجی خروجی کابل مغان

بارش	پارامتر	دبی $\left(\frac{m^3}{s}\right)$		
		RMSE $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	NRMSE	MAE $\left(\frac{m^3}{s}\right)$
عصر	۱۳۹۹/۱/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۱۵
	۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۰۸	۰/۲	۰/۰۶
	۱۳۹۹/۲/۴	۰/۴	۰/۳۴	۰/۲۸
	۱۳۹۹/۲/۸	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۲۷

۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۹	۱۳۹۹/۲/۱۴
۰/۹۴	۰/۱۶	۰/۳	۰/۲۵	میانگین آماره‌ها

جدول (۹-۴) شاخص‌های آماری مرحله واسنجی خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی

دبی $(\frac{m^3}{s})$				
پارامتر	RMSE $(\frac{m^3}{s})$	NRMSE	MAE $(\frac{m^3}{s})$	R ²
۱۳۹۹/۱/۲۲	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۹۷
۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۰۶	۰/۳	۰/۰۴	۰/۹۳
عصر				
۱۳۹۹/۲/۴	۰/۲۵	۰/۳	۰/۱۵	۰/۹
۱۳۹۹/۲/۸	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۱۳	۰/۹۴
عصر				
۱۳۹۹/۲/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۹۳
میانگین آماره‌ها	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۹۳

مقدار R^2 (ضریب تبیین) همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است و RMSE (میانگین ریشه دوم مربعات خطا)، NRMSE (RMSE نرمال شده) و MAE (میانگین خطای مطلق) نشان دهنده‌ی مقدار خطا هستند که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با داده‌های مشاهداتی چقدر است. حداقل مقدار RMSE، NRMSE و MAE صفر است که نشان دهنده‌ی کارایی عالی و یا خوب مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد بررسی می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های RMSE، NRMSE و MAE برابر صفر خواهد بود (مریو، ۲۰۰۹ و ماتارا، ۲۰۱۷). بر اساس نتایج جدول‌های (۴-۷) و (۴-۸) کارایی کلی مدل برای ۵ رخداد قابل قبول می‌باشد. با توجه به مقادیر ضریب تبیین همبستگی خوبی بین

داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. طبق این آماره بارندگی ۱۳۹۹/۲/۸ (عصر) در خروجی کابل مغان پایین‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است که خطاهای بررسی شده نیز عدد بالاتری نسبت به بقیه را نشان می‌دهند و این امر می‌تواند خطا در اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی یا بارش‌های ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک باشد ولی با توجه به شکل (۴-۵) که ارتباط خوب و قابل قبولی بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد کارایی مدل نیز در این رخداد قابل قبول می‌باشد.

۴-۶- نتایج اعتبارسنجی

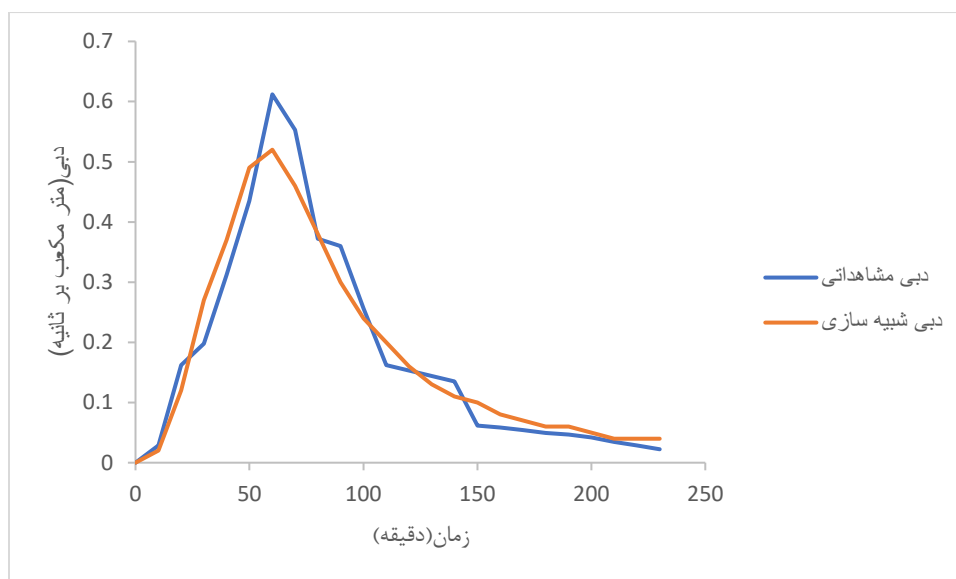
هر مدلی پس از مرحله واسنجی باید مورد اعتبارسنجی قرار بگیرد تا کارایی مدل قابل قبول شود. از این رو پس از مرحله واسنجی مدل SWMM، مرحله اعتبارسنجی آن را با ۳ رخداد بارش‌های ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح) و ۱۳۹۹/۲/۷ و ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) که ارتفاع رواناب و سرعت متناظر آن برداشت شده بود، استفاده گردید. نتایج حاصل از اعتبارسنجی برای خروجی کابل مغان در جدول (۴-۱۰) و برای خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی در جدول (۴-۱۱) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۰) مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رخدادهای مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان						
پارامتر	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	اختلاف	حجم جریان (m^3)	اختلاف	اختلاف	رخداد
		(درصد)		(درصد)	(درصد)	
مشاهداتی	شبیه‌سازی		مشاهداتی	شبیه‌سازی		
۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۶۱	۰/۵۲	۱۷/۳	۲۵۶۱/۴	۲۵۷۴	۰/۵
صبح						
۱۳۹۹/۲/۷	۰/۶۴	۰/۶	۶/۷	۳۲۰۴/۹	۲۷۳۳	۱۷/۱
۱۳۹۹/۲/۸	۱۲	۱۲/۵۵	۴/۶	۴۳۴۱۸/۲	۴۱۵۵۰	۴/۵
صبح						

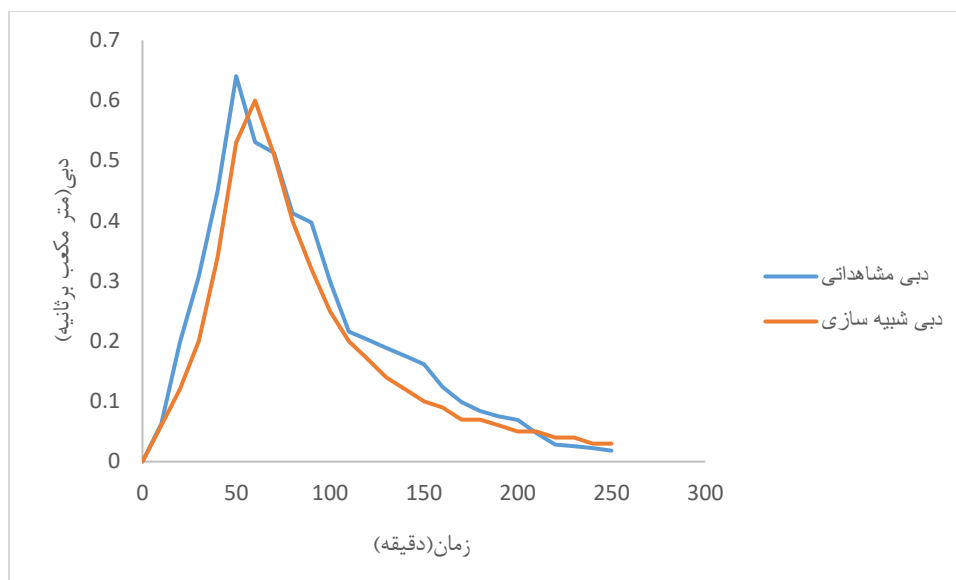
جدول (۴-۱۱) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رخدادها در مرحله اعتبارسنجی خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی

پارامتر	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	اختلاف (درصد)	حجم جریان (m^3)	اختلاف (درصد)	رخداد
مشاهداتی	شبیه سازی	مشاهداتی	شبیه سازی	اختلاف (درصد)	
۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۳۴	۰/۳۳	۱۶۶۹/۸	۱۵۲۷	۹/۴
صبح					
۱۳۹۹/۲/۷	۰/۳۹	۰/۳۸	۱۷۳۵/۲	۱۵۹۰	۹/۱
۱۳۹۹/۲/۸	۱۱/۵۶	۱۱/۹	۳۵۳۹۴	۳۳۱۵۹	۶/۷
صبح					

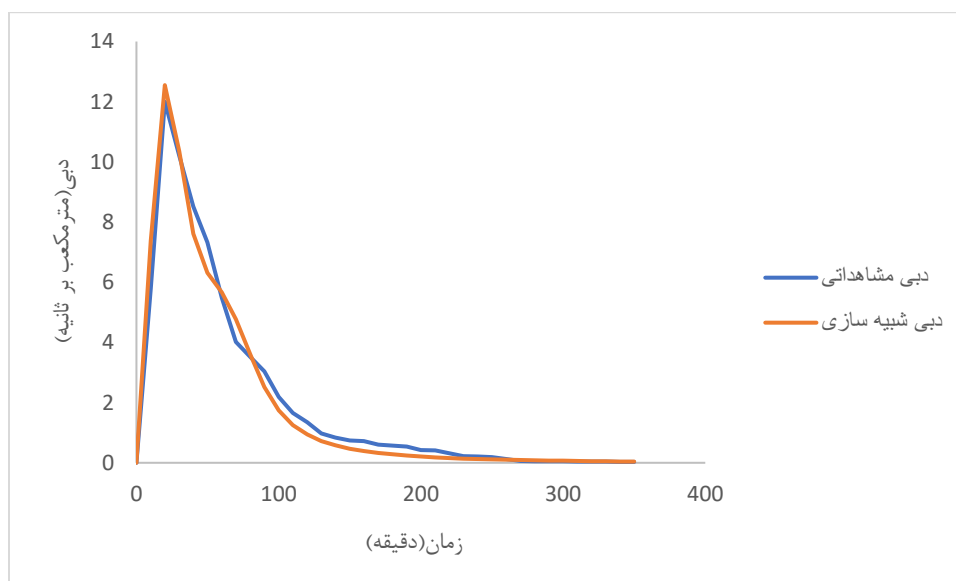
همچنین شکل های (۴-۱۲ تا ۴-۱۴) خروجی کابل مغان و شکل های (۴-۱۵ تا ۴-۱۷) خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی به مقایسه هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهداتی برای سه بارش مورد بررسی قرار گرفته است.



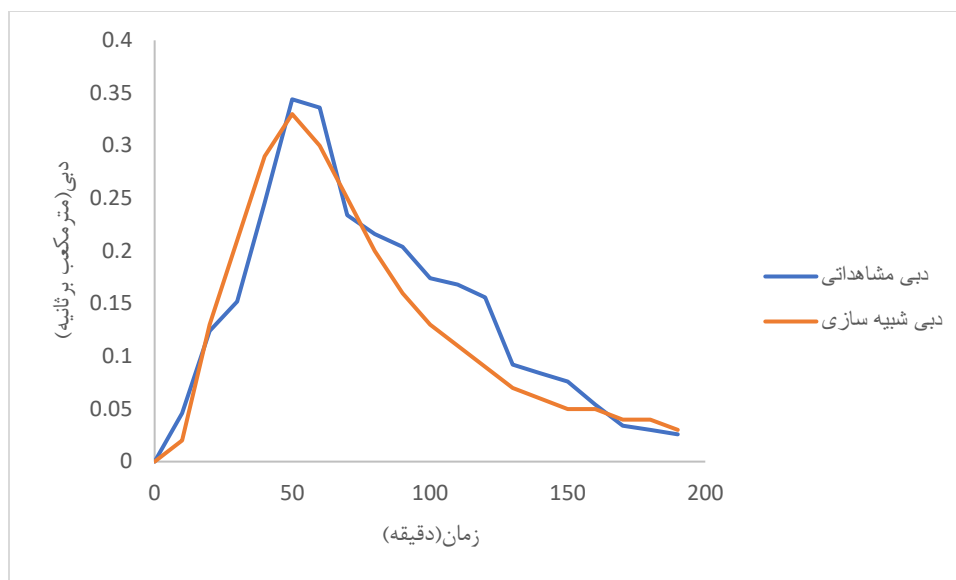
شکل (۴-۱۲) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان



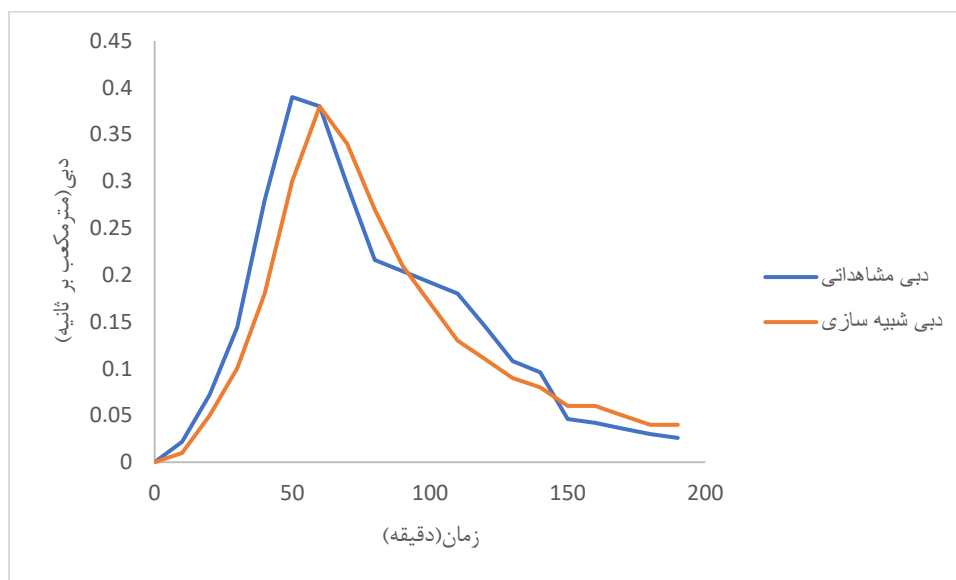
شکل (۴-۱۳) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای بارش ۱۳۹۹/۲/۷ در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان



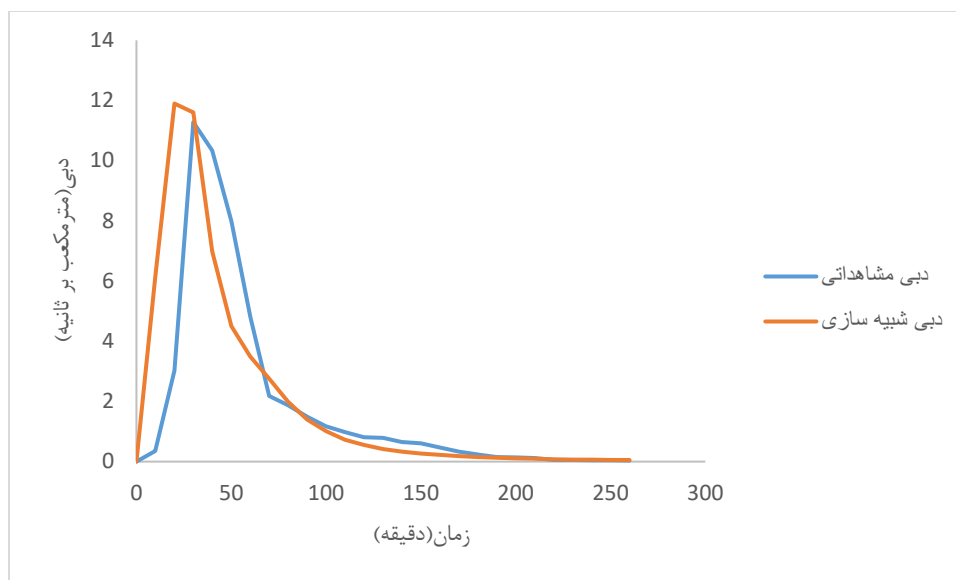
شکل (۴-۱۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان



شکل (۴-۱۵) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۱/۲۳ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی



شکل (۴-۱۶) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۷ در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی



شکل (۴-۱۷) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای بارش ۱۳۹۹/۲/۸ (صبح) در مرحله اعتبارسنجی خروجی دانشگاه صنعتی

نتایج بدست آمده از جدول‌های (۴-۱۰)، (۴-۱۱)، (۴-۱۲) و (۴-۱۳) همچنین با توجه به هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی برای هر بارش نشان می‌دهد که مدل تطابق خوبی با مشخصات منطقه پیدا کرده است. نتایج آماری برای کارایی ارزیابی مدل در جداول (۴-۱۲) و (۴-۱۳) آورده شده است.

جدول (۴-۱۲) شاخص‌های آماری مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان

دبی ($\frac{m^3}{s}$)				
بارش	پارامتر	RMSE ($\frac{m^3}{s}$)	NRMSE	MAE ($\frac{m^3}{s}$)
۱۳۹۹/۱/۲۳		۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۳
صبح				
۱۳۹۹/۲/۷		۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۴
۱۳۹۹/۲/۸		۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۲۸
صبح				
میانگین آماره‌ها		۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۲
۰/۹۵				
۰/۹۴				
۰/۹				
۰/۹۳				

جدول (۴-۱۳) شاخص‌های آماری مرحله اعتبارسنجی خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی

دبی ($\frac{m^3}{s}$)				
بارش	پارامتر	RMSE ($\frac{m^3}{s}$)	NRMSE	MAE ($\frac{m^3}{s}$)
	R^2			
۱۳۹۹/۱/۲۳	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۹۱
صبح				
۱۳۹۹/۲/۷	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۹
۱۳۹۹/۲/۸	۰/۴۹	۰/۲۲	۰/۳	۰/۹۸
صبح				
میانگین آماره‌ها	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۹۳

بر اساس برآورد آماره‌ها اندازه‌گیری شده در مرحله اعتبارسنجی میانگین آماره‌ها در خروجی کابل مغان عبارتند از $R^2 = ۰/۹۳$ ، $RMSE = ۰/۱۷(\frac{m^3}{s})$ ، $NRMSE = ۰/۲۲$ و $MAE = ۰/۱۲(\frac{m^3}{s})$ و خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی $R^2 = ۰/۹۳$ ، $RMSE = ۰/۱۸(\frac{m^3}{s})$ ، $NRMSE = ۰/۲۳$ و $MAE = ۰/۱۲(\frac{m^3}{s})$ نشان می‌دهد که در این مرحله با توجه به سه بارش که به صورت مستقل مورد ارزیابی قرار گرفته است پارامترهای بهینه شده به خوبی برآورد شده‌اند و مدل به خوبی توانسته سیلاب‌ها را شبیه‌سازی کند.

۴-۷- بارش طرح

همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد زمان بارش طرح برابر با زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. از این رو برای تعیین بهترین زمان تمرکز برای شهر شاهرود از دو روش کالیفرنیا و کریپچ استفاده گردید که در جدول (۴-۱۴) آورده شده است.

جدول (۴-۱۴) زمان تمرکز بدست آمده به روش‌های مختلف

نام روش	کالیفرنیا	کرپیچ	متوسط
زمان تمرکز (دقیقه)	۵۸/۹	۵۸/۷	۵۸/۸

با توجه به جدول (۴-۱۴) زمان تمرکز محاسبه شده توسط دو روش تقریباً مشابه می‌باشد. بنابراین جهت برآورد بارش طرح زمان تمرکز برابر با ۶۰ دقیقه مبنای کار قرار گرفت.

برای محاسبه دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله همانطور که در فصل قبل گفته شد از روش قهرمان استفاده شد. بدین منظور ابتدا دوره بازگشت ۱۰ ساله با تداوم ۶۰ دقیقه‌ای از رابطه ۱۲ محاسبه گردید سپس با استفاده از رابطه ۱۱ مقدار بارش دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه و با قرار دادن مقدار بارش در رابطه‌ی (۴-۱) شدت بارش بدست آمد که در جدول (۴-۱۵) آورده شده است.

$$h = \frac{2p}{T_d} \quad (۴-۱)$$

که در رابطه فوق h شدت بارش بر حسب میلی‌متر بر ساعت، p مقدار بارش بر حسب میلی‌متر و T_d تداوم بارش (زمان تمرکز) بر حسب ساعت می‌باشد.

جدول (۴-۱۵) مقدار شدت بارش دوره بازگشت‌های مختلف با تداوم ۶۰ دقیقه‌ای

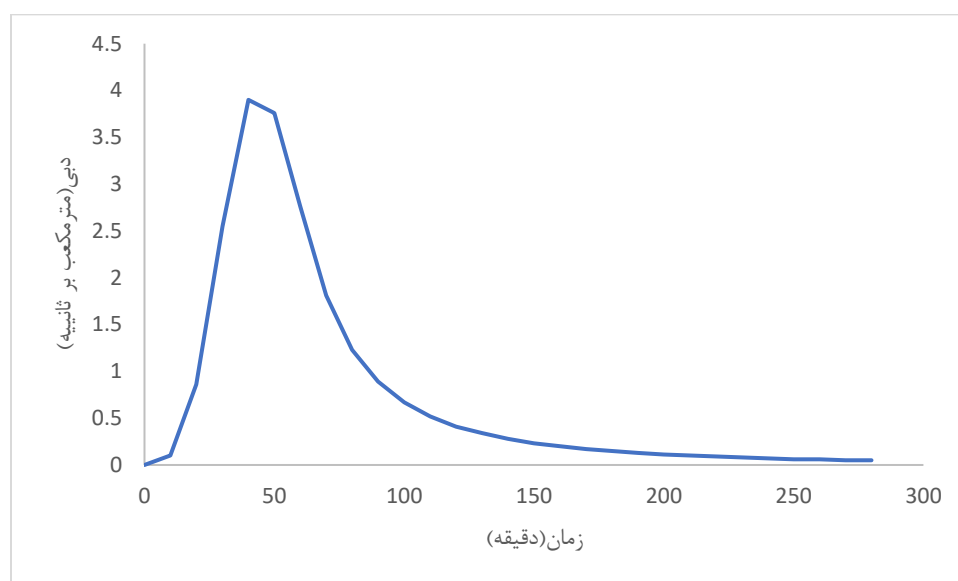
دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
مقدار شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)	۱۲/۵	۱۸/۸	۲۳	۲۵/۳	۲۶/۹	۲۸/۲	۳۲	۳۵/۸

در ادامه بعد از محاسبه مقدار شدت بارش‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش هیتوگراف مثلی مقدار بارش تجمعی بدست آمد که در جدول (۴-۱۶) ارائه شد.

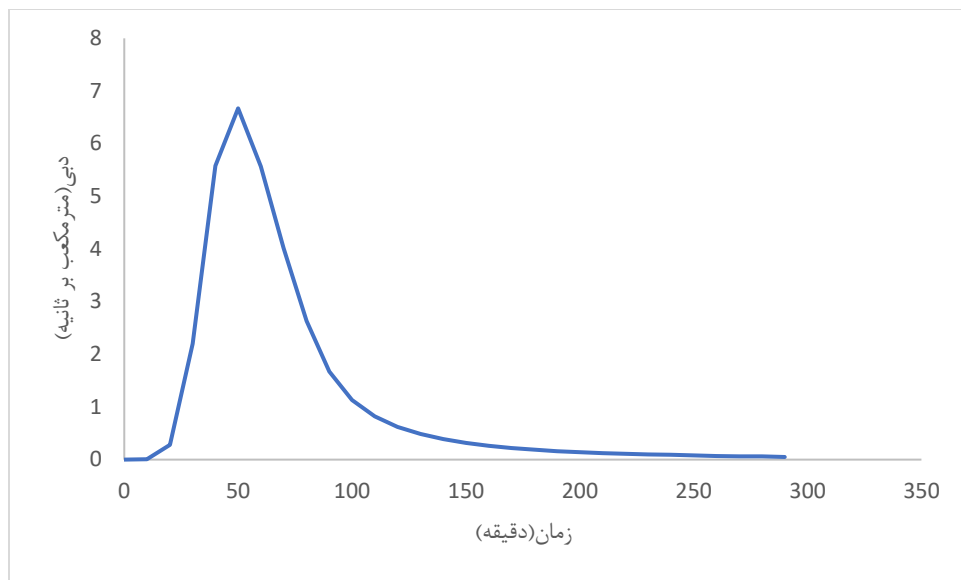
جدول (۴-۱۶) مقدار بارش دوره بازگشت‌های مختلف با تداوم ۶۰ دقیقه‌ای

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
مقدار تجمعی بارش (میلی‌متر)	۶/۳	۹/۳	۱۱/۵	۱۲/۷	۱۳/۴	۱۴/۳	۱۵/۸	۱۷/۸

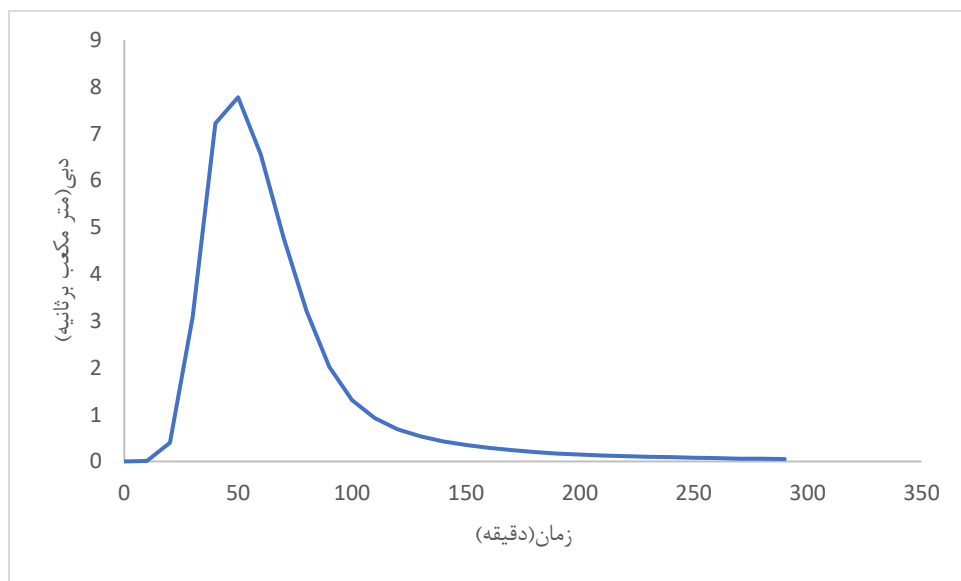
با استفاده از روش هیتوگراف مثلثی بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای مربوط به هر دوره بازگشت بدست آمده را به صورت تجمعی و تداوم ۶۰ دقیقه‌ای در مدل SWMM کالیبره شده منطبق با منطقه وارد کرده و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در شکل‌های (۴-۱۸ تا ۴-۲۵) مربوط به خروجی کابل مغان و شکل‌های (۴-۲۶ تا ۴-۳۳) خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی ارائه شده است.



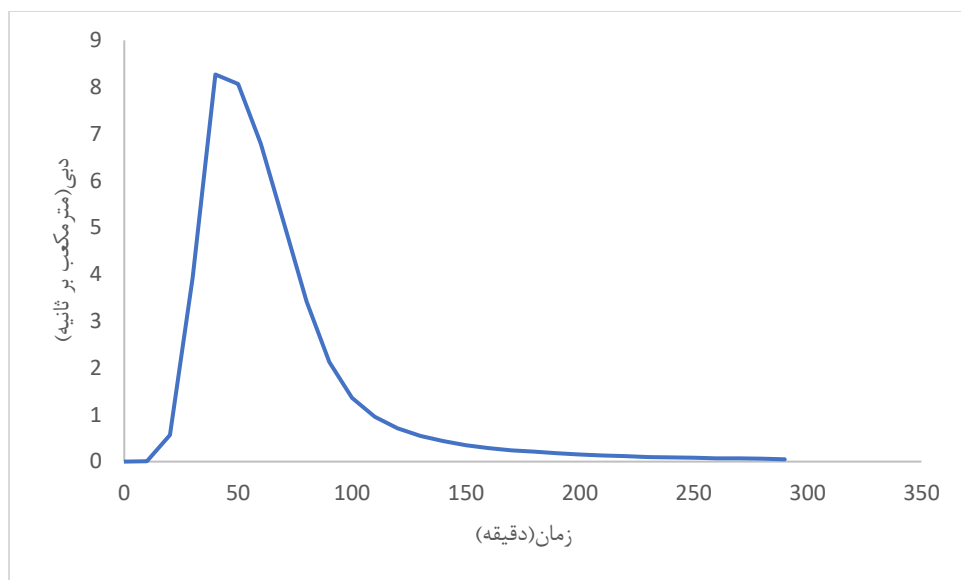
شکل (۴-۱۸) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲ ساله خروجی کابل مغان



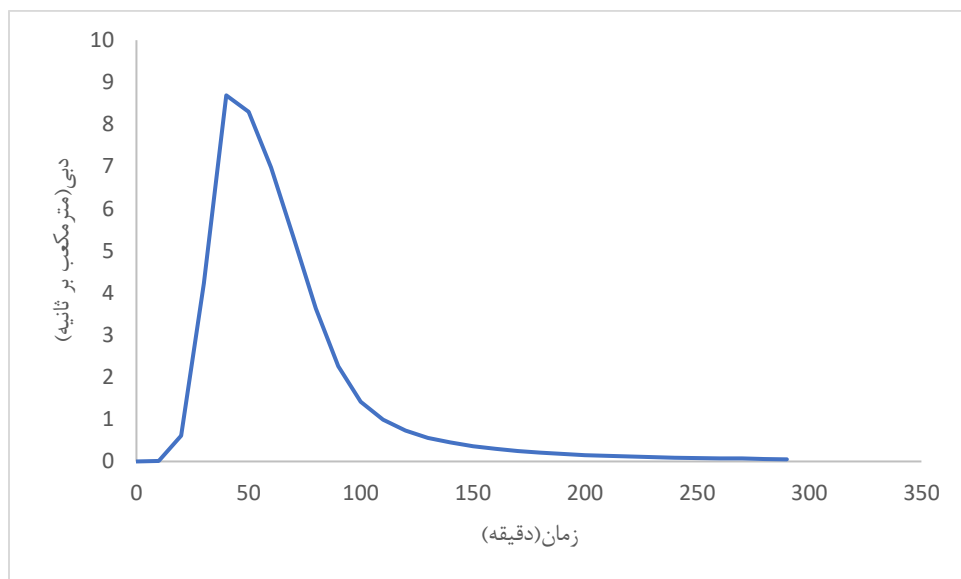
شکل (۴-۱۹) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵ ساله خروجی کابل مغان



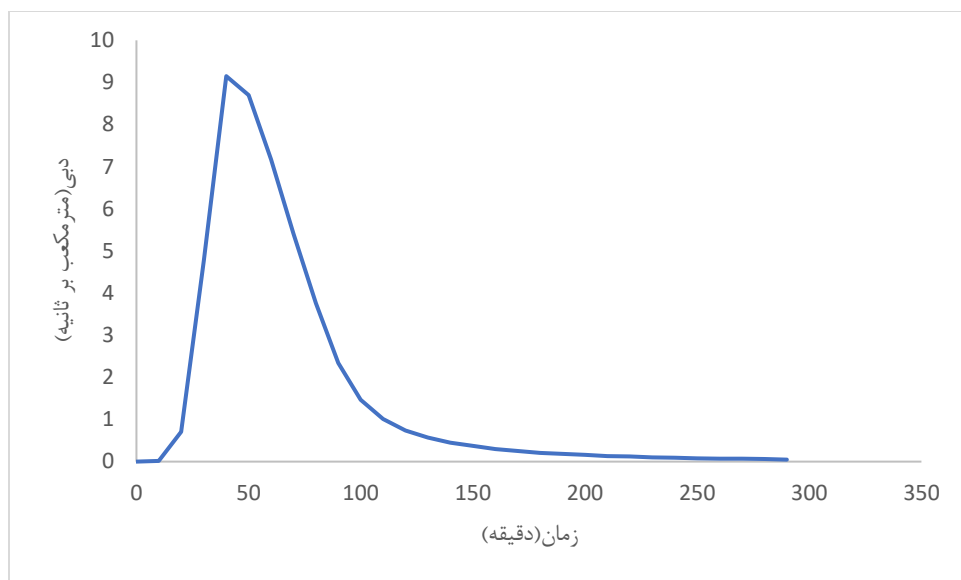
شکل (۴-۲۰) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰ ساله خروجی کابل مغان



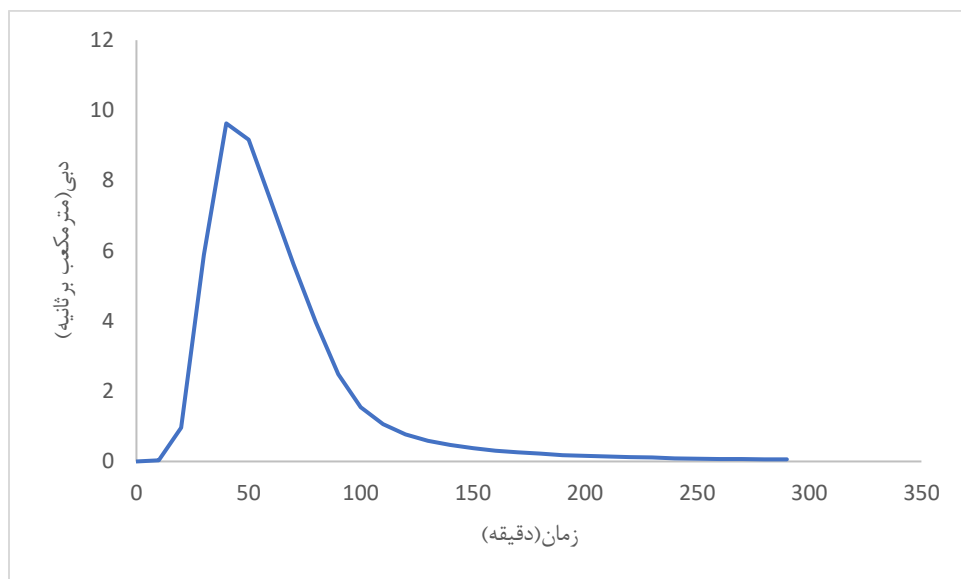
شکل (۴-۲۱) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۵ ساله خروجی کابل مغان



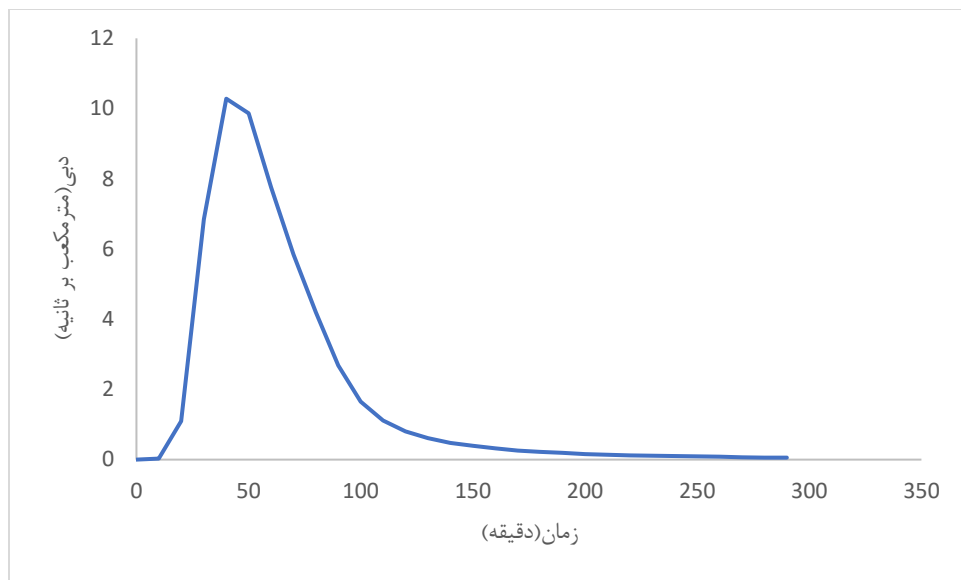
شکل (۴-۲۲) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۰ ساله خروجی کابل مغان



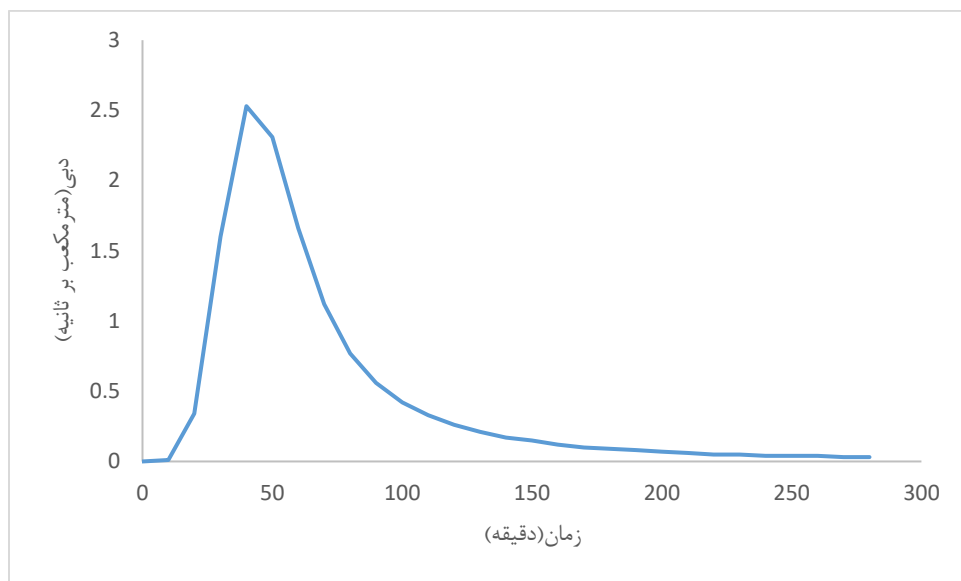
شکل (۴-۲۳) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۵ ساله خروجی کابل مغان



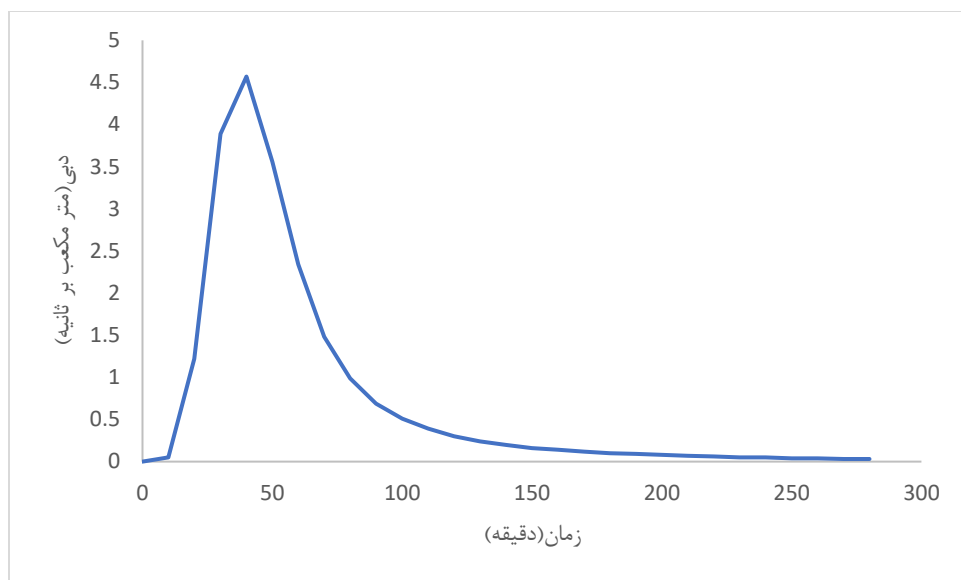
شکل (۴-۲۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله خروجی کابل مغان



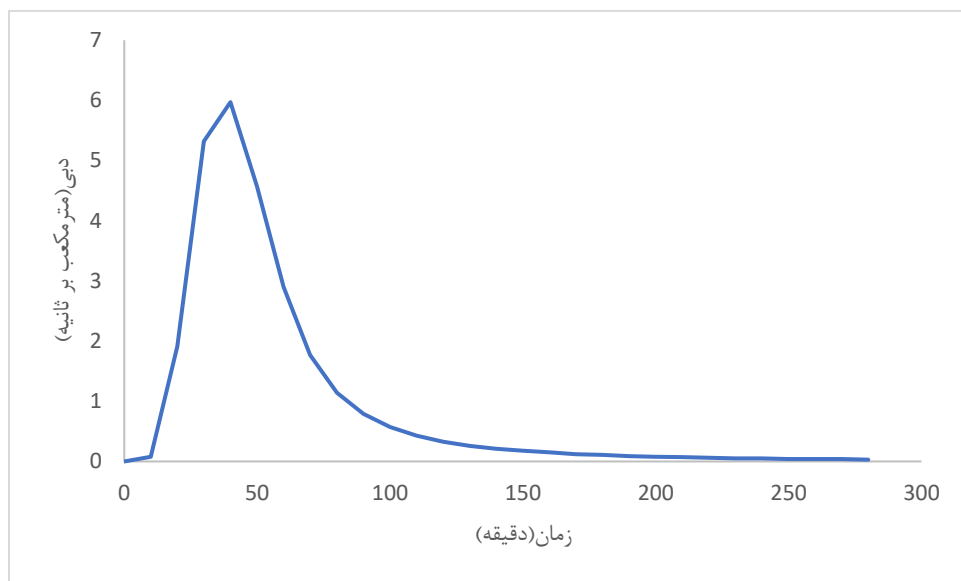
شکل (۴-۲۵) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله خروجی کابل مغان



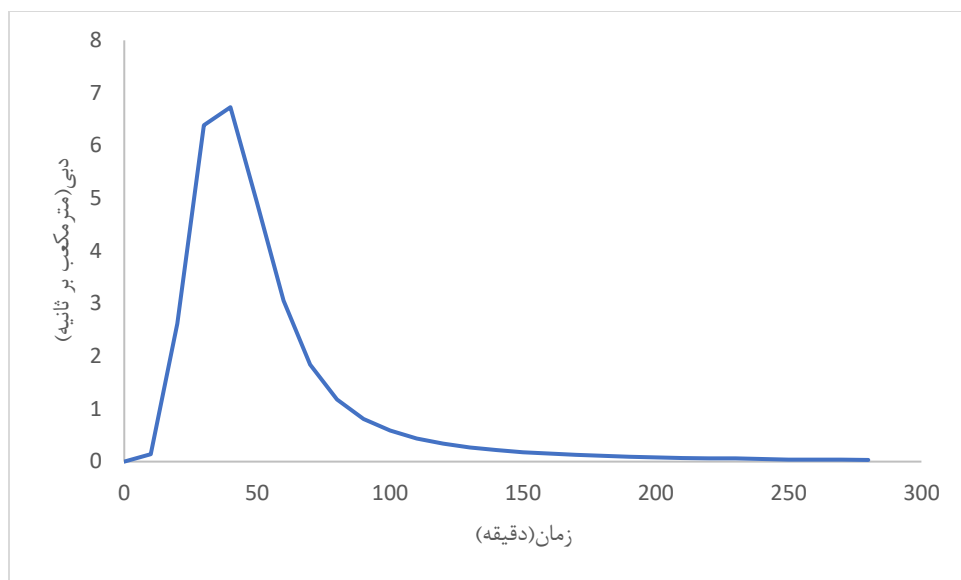
شکل (۴-۲۶) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



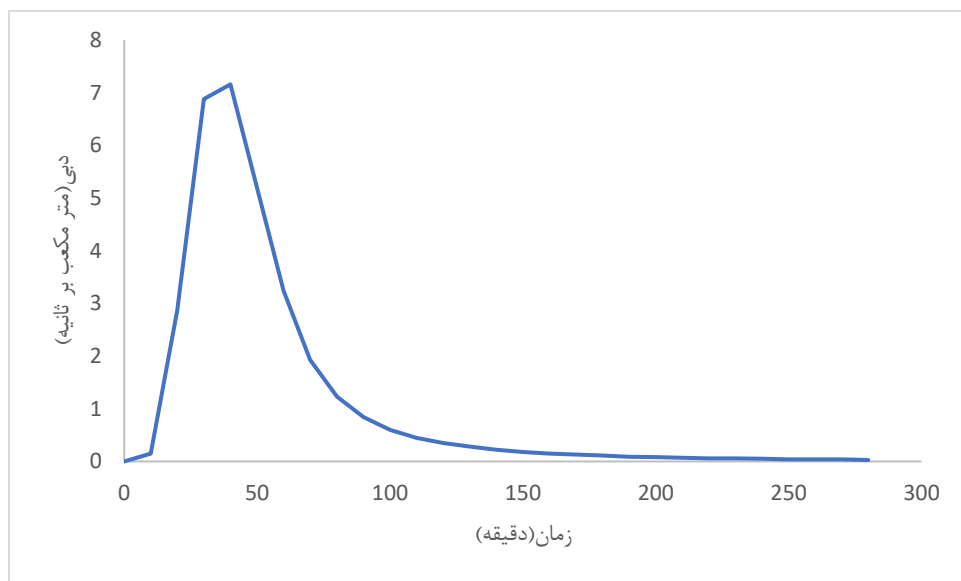
شکل (۴-۲۷) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



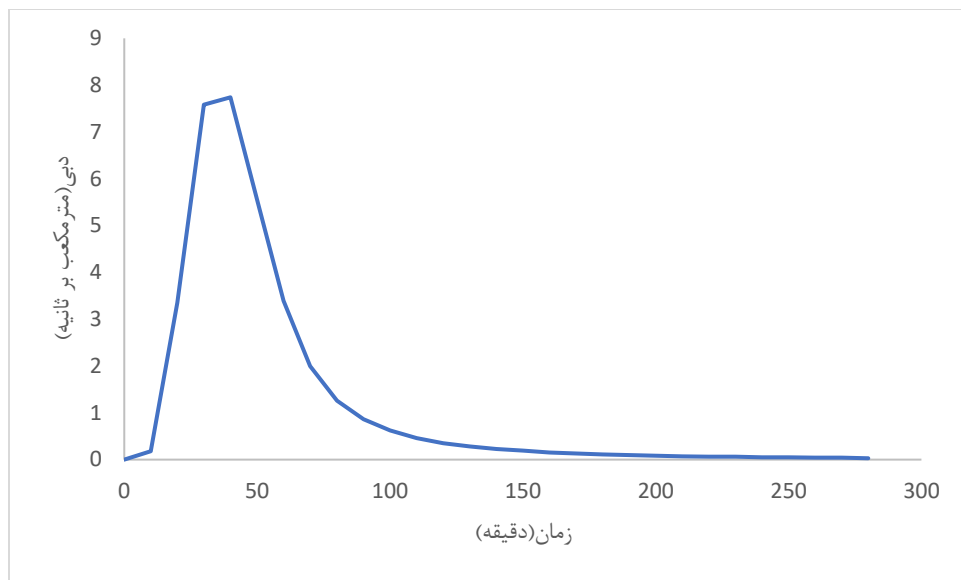
شکل (۴-۲۸) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



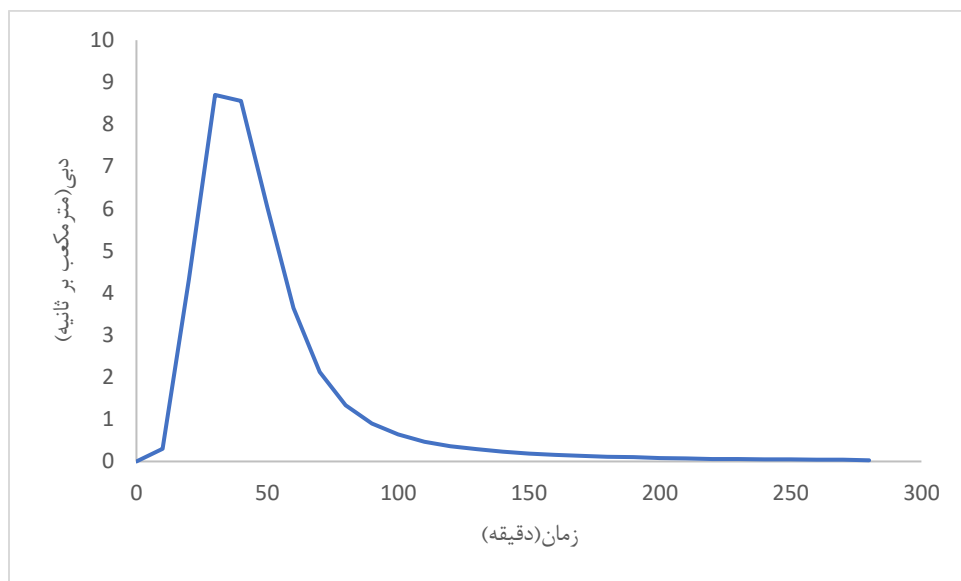
شکل (۴-۲۹) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



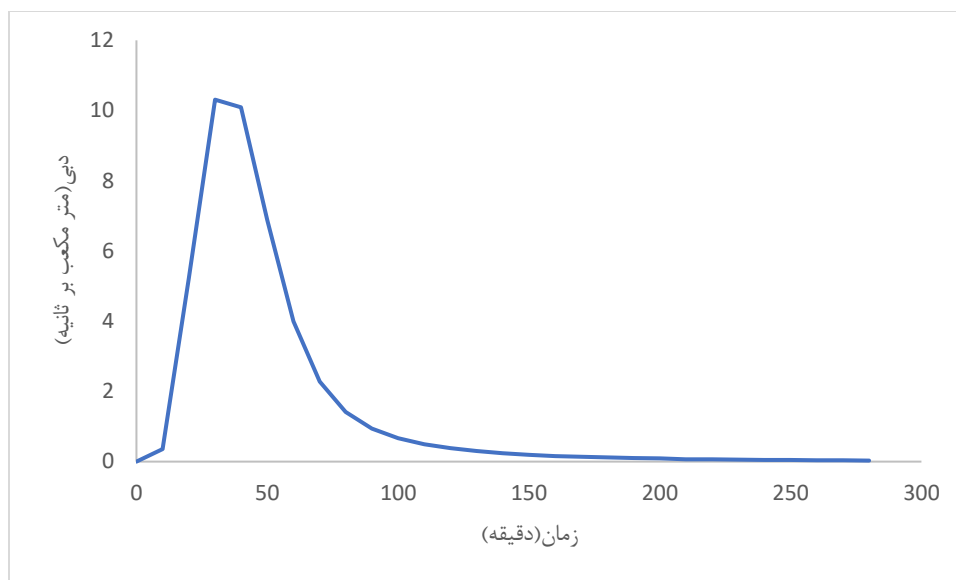
شکل (۴-۳۰) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



شکل (۳۱-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۲۵ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



شکل (۳۲-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی



شکل (۳۳-۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله خروجی پایین دست دانشگاه صنعتی

دبی اوج با دوره بازگشت‌های مختلف در دو خروجی کابل مغان و پایین دست دانشگاه صنعتی در جداول (۱۷-۴) و (۱۸-۴) ارائه شده است که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته شد.

جدول (۱۷-۴) دبی اوج و حجم جریان با دوره بازگشت‌های مختلف خروجی کابل مغان

دوره بازگشت (سال)	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	حجم رواناب (m^3)
۲	۳/۹	۱۲۹۶۳
۵	۶/۶۷	۲۰۴۵۱
۱۰	۷/۷۸	۲۴۶۵۱
۱۵	۸/۲۷	۲۶۶۹۷
۲۰	۸/۶۹	۲۷۸۲۵
۲۵	۹/۱۵	۲۹۰۹۷
۵۰	۹/۶۳	۳۱۱۱۰
۱۰۰	۱۰/۲۸	۳۳۳۴۸

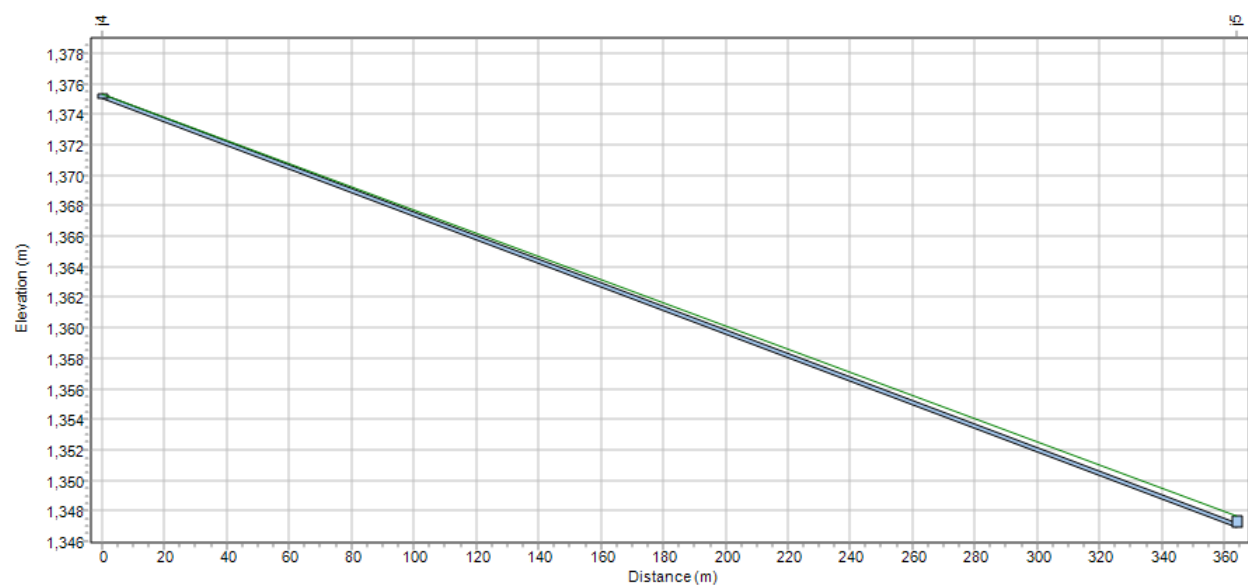
جدول (۴-۱۸) دبی اوج و حجم جریان با دوره بازگشت‌های مختلف خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی

دوره بازگشت (سال)	دبی اوج ($\frac{m^3}{s}$)	حجم رواناب (m^3)
۲	۲/۵۳	۷۹۳۵
۵	۴/۵۷	۱۲۸۸۵
۱۰	۵/۹۷	۱۶۴۰۷
۱۵	۶/۷۳	۱۸۳۹۹
۲۰	۷/۱۶	۱۹۵۱۵
۲۵	۷/۷۴	۲۱۰۰۳
۵۰	۸/۷	۲۳۴۲۷
۱۰۰	۱۰/۳۱	۲۶۸۵۳



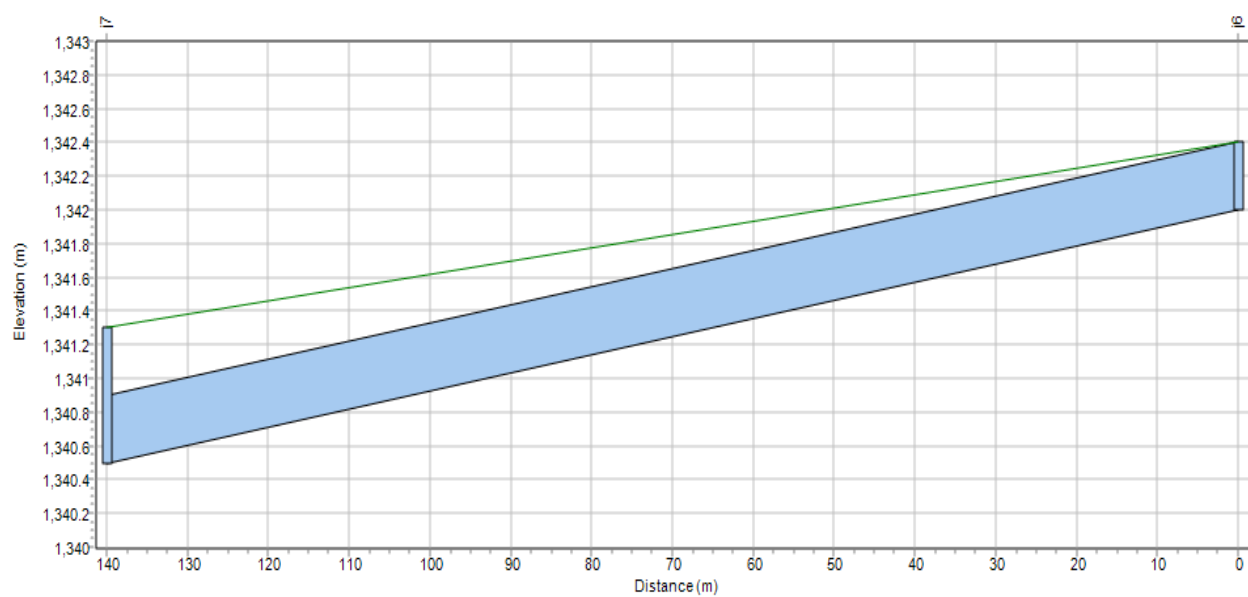
شکل (۴-۳۴) پروفیل سطح آب C2 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j4 - j5



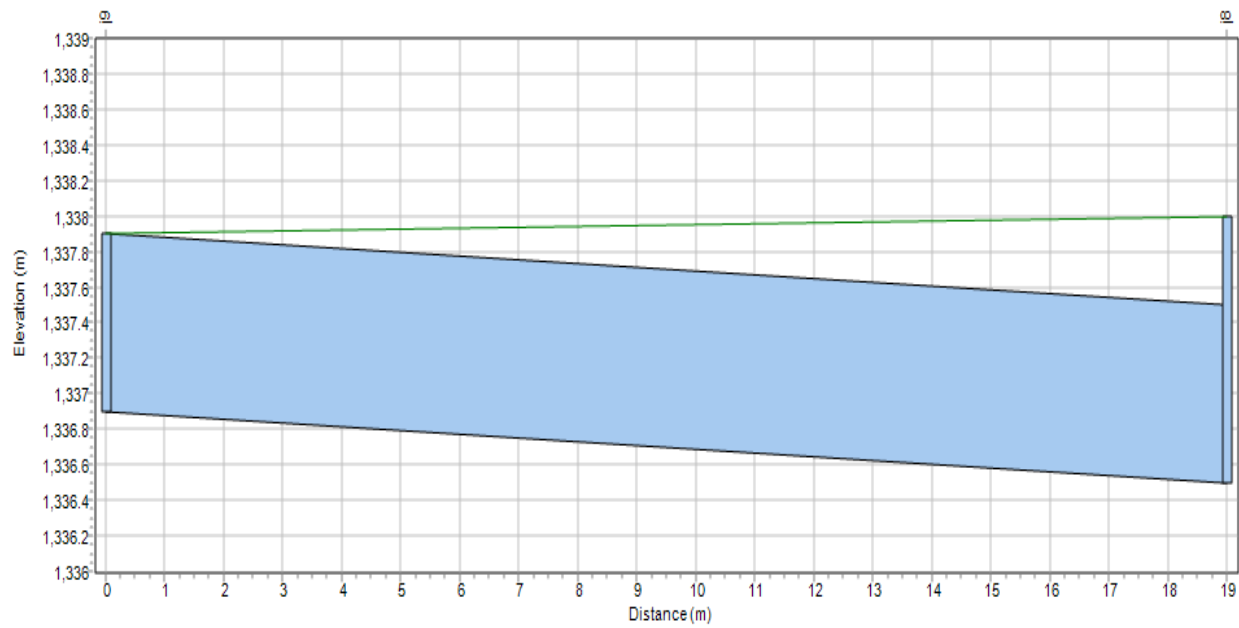
شکل (۴-۳۵) پروفیل سطح آب C3 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j6 - j7



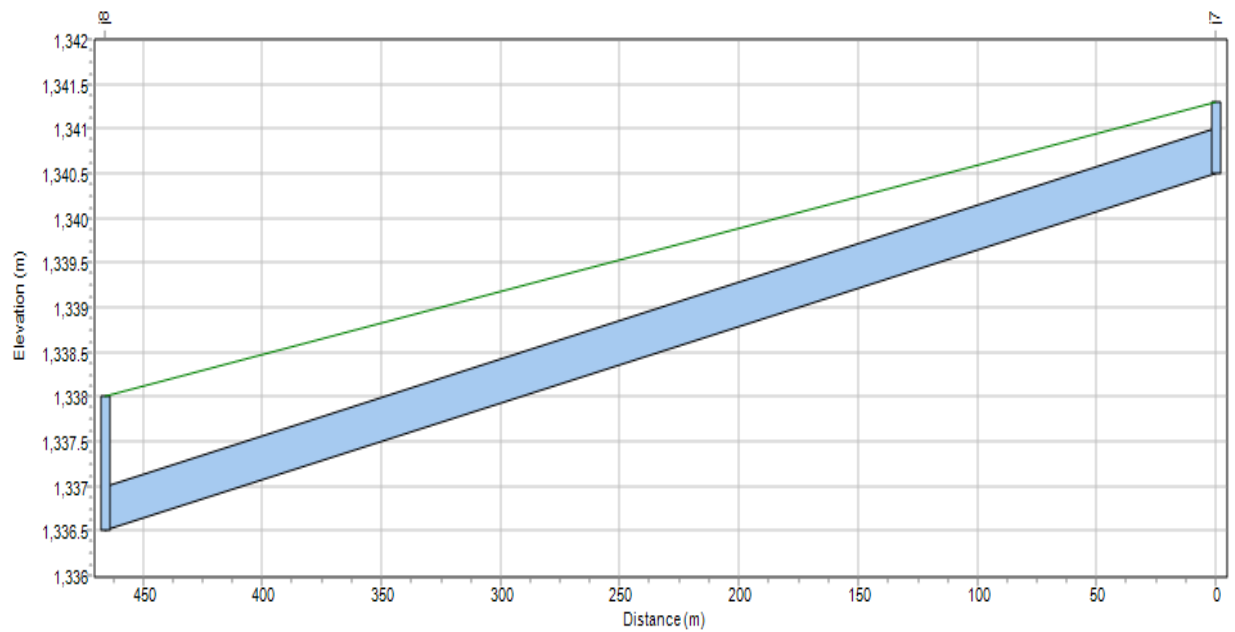
شکل (۴-۳۶) پروفیل سطح آب C5 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j9 - j8



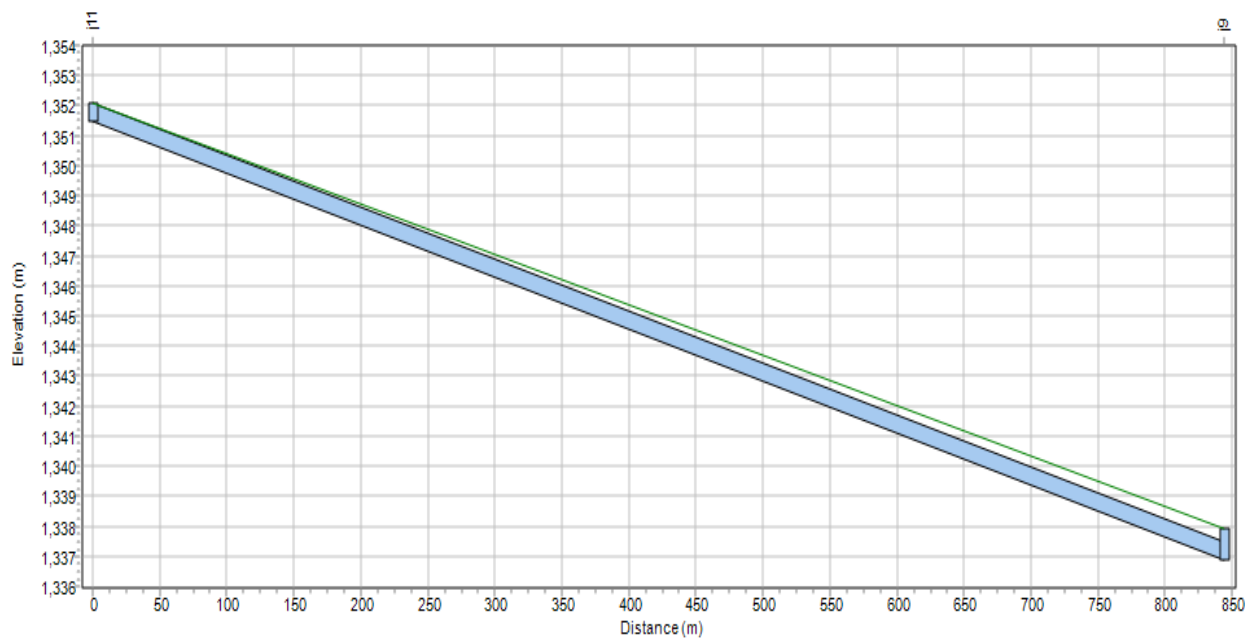
شکل (۴-۳۷) پروفیل سطح آب C7 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j7 - j8



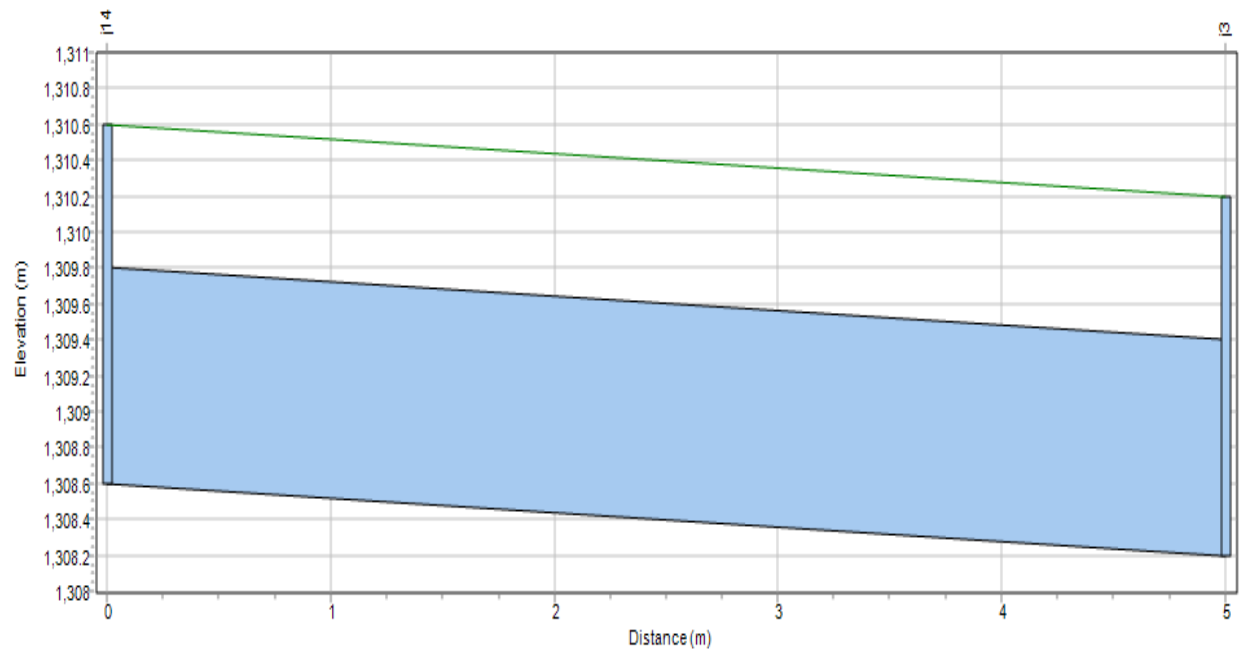
شکل (۴-۳۸) پروفیل سطح آب C8 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j11 - j9



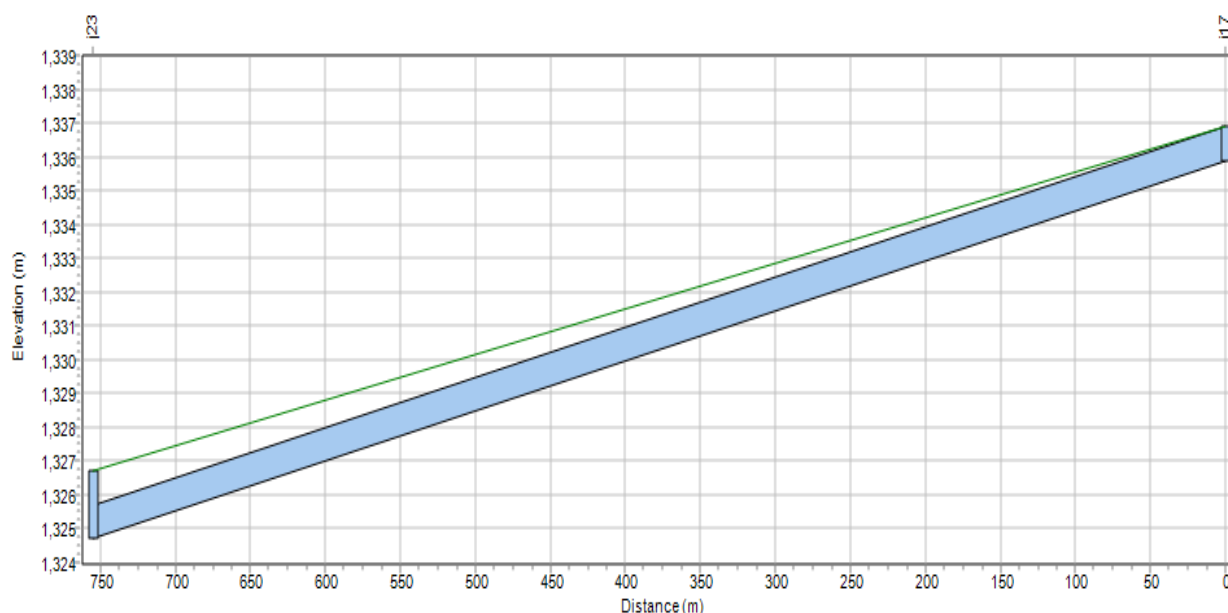
شکل (۴-۳۹) پروفیل سطح آب C6 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j14 - j3



شکل (۴-۴۰) پروفیل سطح آب C12 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

Water Elevation Profile: Node j17 - j23



شکل (۴-۴۱) پروفیل سطح آب C21 در دوره بازگشت ۲۵ ساله در پروفیل طولی

پس از اینکه شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف انجام شد، عمق جریان آب در کانال‌های اصلی زهکش زیرحوضه‌ها با دوره بازگشت مختلف مورد بررسی قرار گرفت که مشخص شد کدام کانال‌های انتقال آب ظرفیت حجم رواناب تولید شده را ندارند. نتایج نشان داد با توجه به شکل‌های (۴-۳۵) تا (۴-۴۲) جریان آب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در کانال C2 که مربوط به انتهای زیرحوضه شهنما است، حجم رواناب $\frac{2}{3}$ برابر ظرفیت کانال زهکش بوده و سبب آبگرفتگی خیابان شده، کانال‌های C3 و C5 خروجی زیرحوضه‌های محدوده‌ی آبشار می‌باشد که حجم رواناب تقریباً $\frac{1}{5}$ برابر ظرفیت کانال‌های انتقال آب بوده، کانال‌های C7، C8 و C6 مربوط به کانال‌های محدوده‌ی ژاندارمری منتهی به خیابان تهران است، تقریباً حجم جریان ۲ برابر ظرفیت کانال زهکش فعلی می‌باشد، کانال C12 که تقریباً انتهای زیر حوضه ژاندارمری است، حجم آب $\frac{0}{67}$ بیشتر از ظرفیت کانال بوده و کانال C21 که مربوط به خروجی زیرحوضه شهرک البرز است، حجم جریان در کانال ۲ برابر ظرفیت کانال انتقال آب بوده و سبب سرریز شدن و آبگرفتگی خیابان و معابر می‌شود. همچنین روندیابی با دوره بازگشت ۲ ساله نشان داد حجم آب در کانال C2 بیشتر از ظرفیت کانال بوده، با دوره بازگشت‌های ۵ ساله و ۱۰ ساله نیز حجم رواناب بیشتر از

ظرفیت کانال‌های C5، C7، C8، C12 و C6 بوده و با دوره بازگشت‌های ۱۵ و ۲۰ ساله نیز حجم رواناب بیشتر از ظرفیت کانال C21 بوده که آب از کانال سرریز کرده و سبب آبگرفتگی خیابان‌ها می‌شود. با توجه به نتایج زمانی که بارش با دوره بازگشت‌های ذکر شده رخ دهد منجر به آبگرفتگی در برخی از معابر و خیابان‌ها می‌شود. از این رو بایستی ابعاد کانال‌های زهکش تغییر کرده و طراحی با ابعاد مناسب انجام گیرد.

با توجه به اینکه زیرحوضه‌های مورد مطالعه به نحوی انتخاب شد که بتوان مدل کالیبره شده توسط ۴ زیرحوضه و ۲ خروجی را به کل شهر تعمیم داد، از این رو کل حوضه شهری شهر شاهرود با مدل کالیبره شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از حجم رواناب تولید شده با دوره بازگشت‌های مختلف در جدول (۴-۱۹) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۹) حجم رواناب حوضه شهر شاهرود با دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m^3)
۲	۵۷۴۵۰
۵	۱۲۵۱۰۹
۱۰	۱۶۱۰۵۸
۱۵	۱۷۹۳۹۷
۲۰	۱۸۹۵۵۵
۲۵	۲۰۲۳۳۸
۵۰	۲۲۳۱۸۲
۱۰۰	۲۴۷۸۳۴

فصل پنجم

نیچ گیری و پیشنهادات

۵-۱-مقدمه

در این تحقیق شبیه‌سازی سیلاب شهری شهر شاهرود با مدل SWMM انجام شد که تعیین شود با دوره بازگشت‌های مختلف چه مقدار رواناب تولید می‌شود و چه مناطقی از شهر در هنگام سیل دچار آبگرفتگی می‌شود. در ادامه به بررسی خلاصه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل پرداخته شد.

۵-۲-نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل SWMM توانایی خوب و قابل قبولی برای برآورد حجم سیلاب ناشی از یک بارش مشخص با توجه به مشخصات عرض معادل حوضه، مساحت حوضه، درصد سطوح مناطق نفوذناپذیر، ضریب مانینگ سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر، ذخیره چالاب در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر و درصد متوسط شیب حوضه دارا می‌باشد.

نتایج در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که اختلاف بین دبی اوج و حجم جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی کم و قابل قبول می‌باشد، از این رو مدل با شاخص‌های آماری در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارزیابی شد. در مرحله واسنجی از ۵ رخداد بارش و در مرحله اعتبارسنجی از ۳ رخداد بارش استفاده شد. برآورد میانگین اندازه‌گیری آماره‌ها در مرحله واسنجی خروجی کابل مغان عبارتند از $R^2=0/94$ ، $RMSE=0/25$ ، $NRMSE=0/3$ و $MAE=0/16$ و خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/14$ ، $NRMSE=0/27$ و $MAE=0/08$ و در مرحله اعتبارسنجی خروجی کابل مغان عبارتند از $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/17$ ، $NRMSE=0/22$ و $MAE=0/12$ و خروجی پایین‌دست دانشگاه صنعتی $R^2=0/93$ ، $RMSE=0/18$ ، $NRMSE=0/23$ و $MAE=0/12$ نشان می‌دهند که پارامترهای بهینه شده به خوبی برآورد شده‌اند و مدل روندیابی خوبی را انجام داده است. در تحقیق حاضر بیش‌ترین و حساس‌ترین پارامترهای ورودی مدل که تاثیر زیادی بر روی دبی اوج و حجم رواناب ناشی از بارش دارند عبارتند از ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر، درصد سطوح

نفوذناپذیر، عمق چالاب در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر که با افزایش توسعه شهری سطوح نفوذناپذیر افزایش یافته و ضریب مانینگ کاهش می‌یابد که باعث می‌شود دبی اوج در زیر حوضه‌ها افزایش بیشتر شود و همچنین با کاهش عمق چالاب نیز دبی اوج افزایش پیدا می‌کند.

در این پژوهش قابلیت شبکه‌های انتقال آب‌های سطحی اصلی در زیرحوضه‌ها با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سال با استفاده از مدل SWMM مورد بررسی قرار گرفت. با روندیابی و شبیه‌سازی دوره بازگشت ۲ ساله کانال‌های C1 و C2 سرریز کرده که باعث آبگرفتگی معابر و خیابان در محدوده زیرحوضه شهنما و با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله کانال‌های C5، C7، C8، C12 و C6 نیز سرریز کرده که باعث آبگرفتگی در زیرحوضه ژاندارمری زیرحوضه‌های (۱۱ و ۱۲) و با دوره بازگشت ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ساله کانال C21 نیز سرریز کرده که سبب آبگرفتگی در قسمتی از محدوده‌ی زیر حوضه شهرک البرز شده است.

۵-۳-پیشنهادهات

۱- با توجه به جامع بودن مدل SWMM و اینکه در تحقیق حاضر برای اولین بار در شاهرود توانایی خوبی برای شبیه‌سازی سیلاب داشته است لذا می‌توان از آن برای مناطق دیگر شهر استفاده کرد.

۲- این مدل را می‌توان برای رفع مشکل آبگرفتگی و طراحی صحیح، دقیق و اصلاح کانال‌های زهکش سطح شهر به کار گرفته شود.

۳- مطالعاتی با این مدل در خصوص جمع‌آوری سیلاب‌های شهری در پایین دست که جهت استفاده فضای سبز شهری باشد.

۴- به علت عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در همه مناطق شهر نتایج این مدل با سایر مدل‌ها که دقت آن‌ها ارزیابی شده مقایسه شود.

۵- با توجه به اینکه در اکثر شهرهای کشور مشکل آبرفتگی داریم توصیه می‌شود که از این مدل برای طراحی یا اصلاح کانال‌های زهکش به خصوص شهرهای شمالی استفاده گردد.

منابع و مآخذ

۱-آرمان ن، شهبازی ع، فرجی م، و دهداری س، (۱۳۹۸) "اثر توسعه شهری بر تولید رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی شهرستان ایزه، استان خوزستان)" **نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز**. جلد ۱۱. شماره ۳. ص ۷۵۰-۷۵۸.

۲-آرمان ش، (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدیریت جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر بندرعباس و استفاده از آن جهت فضای سبز با استفاده از نرم افزار SWMM (مطالعه موردی: منطقه یک شهر بندرعباس)"، دانشگاه هرمزگان.

۳-اروند ص، (۱۳۹۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی کارایی روشهای مدیریت سیلاب (BMPs) برای کنترل رواناب شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری نیشابور)"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۴-اسماعیل پور و علمداری س، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "شبیه‌سازی رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM و مقایسه نتایج مدل با روش SCS (مطالعه موردی: شهرستان بابل، محدوده‌ی کمربند غربی)"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۵- باقلانی م، رستمی ن، و توکلی م، (۱۳۹۸) "شناسایی عوامل موثر بر بروز سیلاب شهری در حوزه آبخیز شهر ایلام" **نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز**. جلد ۱۱. شماره ۲. ص ۵۲۳-۵۳۶.

۶-بهبهانی م، (۱۳۸۸) "هیدرولوژی آب‌های سطحی". چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۸۸.

۷-بدیعی زاده س، بهره‌مند ع، دهقانی ا، و نورا ن، (۱۳۹۴) "مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان استان گلستان" **نشریه حفاظت آب و خاک**. جلد بیست و دوم. شماره ۴. ص ۱۵۵-۱۷۰.

۸- بدیعی زاده س، بهره‌مند ع، و دهقانی ا، (۱۳۹۵) "کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولیکی-هیدرولوژیکی SWMM به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی (مطالعه موردی، شهر گرگان)" پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال هفتم. شماره ۱۴. ص ۱-۱۰.

۹- حسینی م، و ابریشمی ج. (۱۳۸۱) "هیدرولیک کانال‌های باز". چاپ نهم، انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۶۱۳.

۱۰- خالقی ا، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "شبیه‌سازی هیدروگراف جریان با استفاده از مدل SWMM و پیش‌بینی اثرات اقدامات آبخیزداری در حوضه رودخانه خشک شیراز"، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۱۱- رشید پور مصطفی، سلیمانی کریم، شاهدی ک، و کریمی و، (۱۳۹۶) "شبیه‌سازی سیلاب در شبکه زهکشی رواناب سطحی (مطالعه موردی حوزه آبخیز شهری شاهزاده رودخانه بابلسر-مازندران)" پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هشتم. شماره ۱۵.

۱۲- شهبازی ع، خلیقی سیگارودی ش، ملیکان آ، و سلاجقه ع، (۱۳۹۶) "تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل مدیریت رواناب شهری SWMM (مطالعه موردی شهر ماهدشت)" پژوهش‌های آبخیزداری. شماره ۱۱۴. ص ۶۷-۷۵.

۱۳- طاعت‌پور ف، خورسندی کوهانستانی ز، و آرمین م. (۱۳۹۸) "ارزیابی کارایی شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی با استفاده از مدل SWMM" علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۴۲. شماره ۱. ص ۳۳-۴۸.

۱۴- علیزاده ا، (۱۳۸۵) "اصول هیدرولوژی کاربردی". چاپ سی و ششم. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).

۱۵-عینلو ف، سلاجقه ع، ملیکان آ، و احمد نژاد م. (۱۳۹۷) "اثر تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری بر دبی پیک رواناب. مرتع و آبخیزداری" **مجله منابع طبیعی ایران**. دوره ۷۱. شماره ۱. ص ۲۰۵-۲۲۱.

۱۶-کبارفرد م، فضلی اولی ر، ضرغامی م، و اکبرپور آ. (۱۳۹۵) "ارزیابی عدم قطعیت مدل سیلاب شهری SWMM با استفاده از روش GLUE" **تحقیقات منابع آب ایران**. سال چهاردهم. شماره ۵. ص ۹۷-۱۰۸.

۱۷-کیانی آ، (۱۳۹۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدیریت رواناب‌های شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی - هیدرولیکی SWMM"، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.

۱۸-مهدوی م، (۱۳۸۸) "هیدرولوژی کاربردی"، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۳۷.

۱۹-یاراحمدی ی، یوسفی ح، جهانگیر م، و ساداتی نژاد س، (۱۳۹۸) "ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی با از مدل هیدرولیکی-هیدرولوژیکی SWMM" **اکو هیدرولوژی**. دوره ۶. شماره ۲. ص ۴۱۵-۴۲۹.

۲۰-صفوی، ح، (۱۳۹۳) "هیدرولوژی مهندسی"، چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

21-Artina s. Calenda G. Calomino F. Cao C. Loggia G.L. Modica C. Paoletti A. Papiri S. Rasalo G. and Veitri P. (1997) "Sistemi di fognature manuale di progettazione (in Italian)" ISBN. 88-203-2442-3, Hoepli S.P.A. Milan, Italy.

22-Beck N.G. Ganley G. Kanner L. Mathies M. (2017) "An urban runoff model designed to inform storm water management decisions" **J environ manage**. 193. Pp: 257-269.

23-Choi K. Ball J.E. (2001) "Parameter estimation for urban runoff modelling urban water". Pp:31-41.

24-Cunderlike J. and Simonovic P. (2004) "Assessment of water resources risk and valnerability to changing climatic condition" University of western Ontario. Project report Ir.

- 25-Das T. Mouser E.P. Pierce D.W. Dettinger M.D. and Cayan D.R. (2013) “Increases in flood magnitudes in California under warming climates”. 501. Pp:101-110.
- 26-Du J.K. Xie S.P. Xu Y.P. Xu C.Y. Singh V.P. (2007) “Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins” **Journal of Hydrol**, vol. 336. Pp: 334–346.
- 27-Elliott A. and Trowsdale A. (2007) “Review of models for low impact urban storm water drainage” **environmental modelling& software**. 22(3). Pp:300-311.
- 28-Gironas J. Roesner L.A. Rossman L.A. and Dvis J. (2010) “A new applications manual for the storm water management model swmm” **Journal of Elsevier environmental modeling and software**. 25(6). Pp:813-824.
- 29-Huber W.C. and Dickinson R.E. (1992). “**Storm water management model user manual**”. Version environmental protection agency Georgia. Pp268.
- 30-Hsu M. Chen S. and change T. (2000) “Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system”. **Journal of hydrology**.
- 31-Huber W.C. and Dickinson R.E. (1992) “Storm water management model user’s manual, version 4” Environmental Protection Agency, Georgia. P 266.
- 32-Huang Y. H. and Wu. C. G. (2014) “Application of the storm water management model to a piedmont city: a case study of Jinan city, China” *Water science & Technology*. 7(5). Pp:858-864.
- 33-Jang S. chi M. Yoon J. Yoon Y. Kim S. Kim G. Kim L. and Aksoy H. (2007) “Using swmm at a tool for hydrologic desalination”. 212(1). Pp:344-356.
- 34-Jiang L. Chen Y. Wang H. (2015) “Urban flood simulation based on the swmm model” *Proc int Assoc hydrol sci*. 368. Pp:186-191.

- 35-Khaleghi M.K. (2017) “The influence of deforestation and anthropogenic activities on runoff generation” **Journal of forest science**. 63(6). Pp: 245-253.
- 36-Leopold L.B. (1968). Hydrology for urban land planning. A guidebook on the hydrologic effects of urban land use, geological survey, Washington Dc.
- 37-Meishui L. Xiaohua Y. Boyang S. Lei C. Zhenyao S. (2016) “Parameter uncertainty analysis of swmm based on the method of Glue” **7th international conference on biology, environment and chemistry**. Volume 98 of IPCBEE. 6pp.
- 38-Nazif S. (2010) “Developing an algorithm for the assessment of climate change impact on urban water cycle” PH. D thesis, faculty of engineering, university of Tehran. Iran.
- 39-Park S.Y. Lee K. Park I.H. and Ha S.R. (2008) “Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a swmm simulation” **Desalination**. 226. Pp:328-337.
- 40-Radmehr A. (2010) “Optimal management of urban surface runoff using spatial multi-criteria decision Msc Thesis”. University of Tehran.
- 41-Rossman L.A. (2009) “Storm water management model user’s manual, version 50 EPA/600/R-05/040, National risk management research and development united states environmental protection agency”.
- 42-Sabeti E. (2011) “Quantitative modeling and investigating the effect of variation of permeable surface on the volume of runoff case study zargande conduit located in maghsoobegg-sadr area” Tehran sharif university Tehran. Iran.
- 43-Scotta L. (2006) “Sanitary sewer design using EPA. Storm water management model (swmm)” Department of civil and environmental engineering, Manhattan college. Parkway, Riverdale, New York. 1-10.
- 44-Selvalingam S. Liong S.Y. and Manoharan P.C. (1978) “Use of RORB and swmm model to an urban catchment in Singapore”. **Journal of advances in water Resources**. 10. Pp:78-86.

45-Taehwa K. Sangachal H. Jongtea L. (2005) “Sensitivity analysis of the parameters of swmm based on design rainfall conditions”. 10.

46-Taj bakhsh M. Khodashenas S. (2012) “Revision of surface runoff drainage system by simulation and application of retention basins (case study east eghbal catchment Mashhad)” **Water and soil science**. 22(1). Pp:109-123.

47-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**, vol. 32, Pp:55- 63.

48-Tsihrintzis V. and Hamid R. (1998) “Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM” **Hydrol**, vol. 12. Pp:311–329.

Abstract

Flood is one of the most important climatic events and the most serious dangerous natural disasters that threaten human societies. Today, urban development has led to land use change which is followed by impermeable surfaces. This causes less water to infiltrate into the ground, and as a result it increases the peak discharge and runoff volume. This causes a lot of human and financial risks in the city, so these runoffs must be controlled. For this purpose in this study using the SWMM model the flood runoff of Shahroud city was simulated. To predict runoff with this model the urban basin was first divided into 21 subbasins and then runoff from 8 rainfall was measured in 4 sub-basins that had two outlets next to Kabul Moghan and downstream of the University of Technology. The input parameters to the model were the equivalent width of the sub-basin, Sub-basin area, Manning coefficient of impermeable and impermeable areas, storage of impermeable and impermeable surfaces, storage of impermeable and impermeable surfaces, storage of impermeable and impermeable surfaces. For model calibration, 5 precipitation events on 10/4/2020, 11/4/2020 (Evening), 23/4/2020, 27/4/2020 (Evening) and 3/5/2020 and for validate the model, 3 precipitation events on 11/4/2020 (morning), 26/4/2020 and 27/4/2020 (morning) were used. Then the model was evaluated with RMSE, NRMSE, MAE and R^2 statistical indices. The results showed that the model was able to estimate the discharge in Moghan Kabul with $R^2 = 0.94$, RMSE=0.25, NRMSE=0.3 and MAE = 0.17 and downstream of Industrial University with $R^2 = 0.93$, RMSE = 0.14, NRMSE=0.27 and MAE = 0.08, at the calibration stage, and also it estimate discharge of the Kabul Moghan with $R^2 = 0.93$, RMSE = 0.17, NRMSE=0.22 and MAE = 0.12 and the downstream of the University of Technology with $R^2 = 0.93$, RMSE = 0.18, NRMSE=0.23 and MAE = 0.12, at the verification. The results also showed that the model has an acceptable ability to simulate floods. The input parameters in order of the manning coefficient of the impermeable areas, storage of impermeable and impermeable surfaces, and the percentage of levels of impermeable areas are the most sensitive parameters that have the greatest impact on peak discharge and runoff volume. In addition, the capability of main surface water transmission networks in sub-basins with return periods of 2, 5, 10, 15, 20 and 25 years was investigated using the SWMM model. The results showed that some drainage canals with a return period of more than 5 years are not able to pass the volume of water flow and cause flooding of passages and streets drainage channels can be modified using the same model.

key words: Urban flood, SWMM software, Runaway, Dubai Peak, Shahroud city



Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

Urban flood simulation of Shahroud city using SWMM model

By: Mohammad Ali Rahimi

Supervisors:

Dr. Samad Emamgholizadeh

Dr. Gholam Hossein karami

Advisors:

Dr. Mahdi Delghandi

Dr. Zahra Ganji Norozi

February 2022

