

برخی از گره‌ها به حدی طولانی خواهد شد که می‌تواند موجب بروز مشکلات جدی در خصوص تردد و آب‌گرفتگی معابر شود.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز شهری، سیستم زهکشی، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی هیدرولیکی، مدل‌های کامپیوتری

مقدمه

علاوه بر سیلاب‌های شهری حاصل از طغیان رودخانه‌ها و غرقاب شدن اراضی مجاور شهری، نوع دوم سیل‌زدگی شهرها بر اثر لبریز شدن شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی رخ می‌دهد که خود ناشی از وقوع رگبارهای شدید در سطح شهر است و بروز این وضعیت ناشی از کمبود ظرفیت این شبکه‌ها می‌باشد. در مطالعات سیلاب شهری اغلب هدف جمع‌آوری رواناب از سطح خیابان‌ها و پیاده‌روها و عدم اتلاف آب‌های دریافتی مطرح می‌باشد. توسعه شهرها موجب افزایش مقادیر اوج جریان و تکرار وقوع آن و همچنین افزایش تولید رسوب از سطوح بدون پوشش و افت شدید کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهد شد [۱۴]. برای بررسی اثرات ناشی از کمیت سیلاب در حوزه‌های شهری، روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شود که یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌باشد. یکی از مؤثرترین مدل‌ها در زمینه شبیه‌سازی سیلاب‌های شهری مدل MIKE SWMM^۵ است که برای برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و طراحی این شبکه‌ها کاربرد دارد، این مدل با قابلیت روندیابی ذخیره سازه، روندیابی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در مقیاس‌های زمانی پیوسته و واقعه‌ای و همچنین امکان پیش‌بینی آلودگی، تاکنون در رده مدل‌های مطرح در زمینه سیلاب شهری بوده است. از مزایای عمده این مدل‌ها، شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده هیدرولیکی است [۲]. MIKE SWMM یک بسته نرم‌افزاری قدرتمند و اقتصادی برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های سیلاب‌رو و فاضلاب‌رو می‌باشد. این نرم‌افزار توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) تهیه شده که از ترکیب دو مدل MIKE11 و SWMM می‌باشد [۵]. مدل MIKE SWMM موارد کاربرد متعددی همچون، تجزیه و تحلیل هیدرولیک پیچیده جریان در سیستم‌هایی با آبروهای رو باز یا بسته، ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی سیلاب و فاضلاب، مطالعه سیلاب، تجزیه و تحلیل رژیم‌های جریان پیچیده (نظیر پل‌ها،

مطالعه رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب شهری در بخشی از شهر ساری

گیلدا معافی^{۱*}، محمود حبیب نژاد روشن^۲، ولی اله کریمی^۳ و مرتضی شعبانی^۴
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۳

چکیده

حوزه‌های آبخیز شهری رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی کاملاً متفاوتی نسبت به حوزه‌های طبیعی بروز می‌دهند. شهرهای واقع در نوار ساحلی خزر، سالانه چندین بار هنگام بارش و رگبارهای نسبتاً شدید، دچار سیل‌گرفتگی شده و چشم‌انداز نامطلوبی را در سطح شهر ایجاد می‌کند. امروزه ضرورت برقراری نظم و ایجاد محیطی امن برای شهروندان مستلزم برنامه‌ریزی جامع، طراحی و مدیریت سیستم‌های دفع آب‌های سطحی می‌باشد، که این امر می‌تواند در قالب یک روش کارآمد و با استفاده از مدل‌های محاسبه و کنترل رواناب‌های شهری تحقق یابد. در این پژوهش از مدل MIKE SWMM جهت شبیه‌سازی سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهر ساری استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه بخشی از شهر ساری با مساحت ۳۹/۶۴ هکتار است که به ۵۱ زیرحوزه تقسیم گردید و به این منظور اطلاعاتی از قبیل وضعیت اقلیمی، توپوگرافی، رژیم هیدرولوژیکی منطقه، وضعیت فعلی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و خصوصیات هیدرولیکی آن‌ها جمع‌آوری شد. با به کارگیری این مدل توسط مجموعه‌ای از داده‌های هیدرولوژیکی و داده‌های هیدرولیکی سیستم زهکشی، قابلیت شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در خروج آب‌های سرگردان حاصل از رگبارهای طرح با تداوم ۲، ۴ و ۶ ساعته و با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال ارزیابی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برخی از مجاری آبروی موجود در این نواحی توانایی و قابلیت عبور دادن سیلاب طراحی را نداشته و این امر موجب می‌گردد تا در محل گره‌های منتهی به مسیرهای بحرانی اضافه بار و شرایط سیلابی ایجاد شود که این وضعیت در

۱- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری و نویسنده مسئول، Email: Gildamoafi@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی گروه آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز

۴- دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس تهران

کالورت‌ها، حوضچه‌های ذخیره، اثرات بازگشت آب، سیستم‌های اضافه بار)، ارزیابی کیفیت آب، ارزیابی تلفیقی کمیت و کیفیت سیلاب و برنامه ریزی با مبنای حوزه آبخیز می‌باشد.

در بررسی وضعیت و شبیه‌سازی سیلاب‌های شهر و با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب شهری پژوهشی‌هایی به شرح زیر صورت گرفته است.

تاج بخش و خداشناس [۱۳]، شبیه‌سازی سیلاب شهری را با استفاده از نرم‌افزار MIKE SWMM در مشهد انجام دادند که منطقه را به ۳۴ زیر حوزه تقسیم کرده و از GIS برای تعیین پارامترهای فیزیکی زیر حوزه‌ها و انتقال دهنده‌ها استفاده کردند. آن‌ها حوضچه‌های کنترل سیلاب را برای کاهش ۸ تا ۱۰۰ درصدی دبی اوج سیلاب مناسب دانستند.

در تحقیقات کریمی [۹]، از مدل EPA-SWMM، جهت شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری بابلسر استفاده شده است. شبیه‌سازی برای رگبارهای ۲ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال و برای مدت ۱۲ ساعت، انجام شد. نتایج شبیه‌سازی کمی سیلاب نشان داده که از ۲۵۹ گره موجود در شبکه مجاری زیر زمینی و سطحی، ۳۲، ۵۷ و ۶۰ گره به ترتیب در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال دچار سیلاب شده اند.

نتایج بدیعی زاده و همکاران [۳] حاکی از قابلیت و توانایی مدل SWMM در فرایند شبیه‌سازی بارش - رواناب است و نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی و عمق رواناب بررسی شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. بنابراین از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه‌های زهکشی آب‌های سطحی استفاده نمود.

هو^۱ و همکاران [۷]، از ترکیب دو مدل SWMM و مدل دو بعدی پخشیدگی جریان سطحی برای شبیه‌سازی سیلاب در حوزه شهری چین تاییه استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که مدل ترکیبی، ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل سیلاب شهری ناشی از سرریز شدن آب از شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و سیلاب ناشی از تخریب ایستگاه‌های پمپاژ می‌باشد.

میگنات^۲ و همکاران [۱۰]، پس از استفاده و واسنجی یک مدل دو بعدی به این نتیجه دست یافتند که می‌توان از آن در برنامه‌ریزی کاهش زبان‌های ناشی از سیلاب‌های شهری در مناطق متراکم شهری استفاده نمود. یو و کولدارد^۳ [۱۷] به ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در مدلسازی سیلاب‌های شهری با استفاده از یک مدل آب‌گرفتگی ساده پرداختند. مدل مذکور به عامل قابلیت هدایت هیدرولیکی خاک حساس بوده و علاوه بر آن بهبود ظرفیت ذخیره سازی و زهکشی در مناطق بالادست را در کاستن از حجم و بزرگی سیلاب‌های پایین دست موثر دانستند.

جی^۴ و همکاران [۸]، در دهکده المپیک پکن با استفاده از مدل SWMM شبکه هیدرولیکی منطقه را شبیه‌سازی کردند و مطابق با مطالعه زلناکوا^۵ و همکاران [۱۵] اقدامات نگهداری طبیعی آب مثل پشت بام‌های سبز، سنگفرش‌های متخلخل، ترانشه‌های نفوذ و باغچه‌های بارانی را به منظور کاهش خطرات سیلاب و کمبود آب و بهبود وضعیت آب‌های سطحی موثر خواندند.

شهر ساری نیز به عنوان مرکز استان مازندران و با وجود مراکز گردشگری به واسطه نزدیکی به دریا و دیگر جاذبه‌های اکوتوریستی موجود در سطح و حومه شهر، یکی از قطب‌های گردشگری شمال کشور محسوب می‌شود که همه ساله هنگام بارش نسبتاً شدید باران دچار سیل‌گرفتگی شده و ساکنین را به لحاظ جانی و مالی متضرر می‌نماید و چشم‌انداز نامطلوبی را ایجاد می‌کند. با عنایت به مطالب مذکور و وجود مشکلات آب‌گرفتگی در این شهر، هدف این پژوهش پاسخ به این سوالات است که آیا آب‌گرفتگی‌های شهرساری به دلیل عدم توانایی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی در دفع و هدایت رواناب‌های سطحی می‌باشد؟ آیا با استفاده از مدل MIKE SWMM می‌توان به شبیه‌سازی سیلاب شهری و شناسایی نقاط بحرانی در شبکه هدایت آب‌های سطحی این منطقه پرداخت؟

مواد و روش‌ها

شرح مختصر ویژگی‌های طبیعی و توسعه شهری ساری

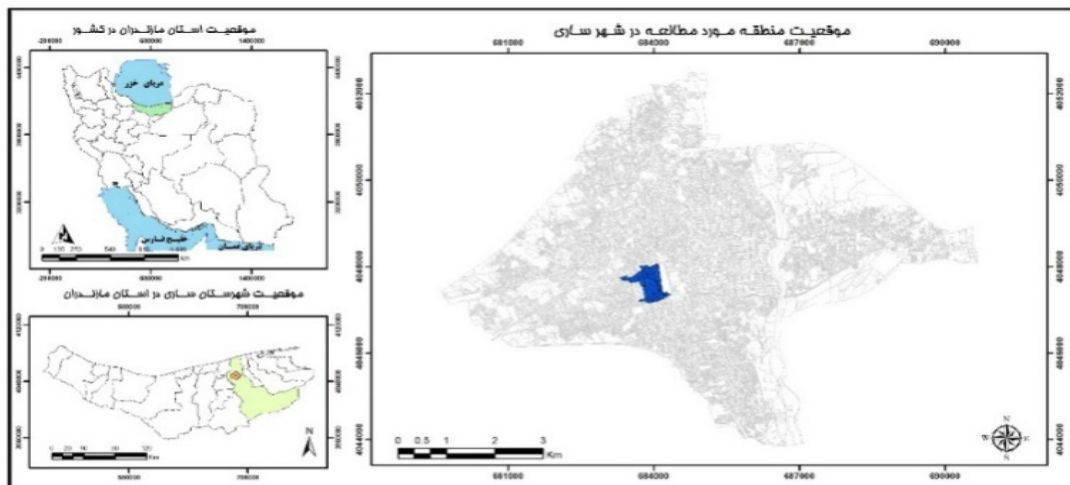
شهر ساری واقع در حوزه آبخیز تجن در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب، ۵۳ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار دارد. به لحاظ توپوگرافی در منطقه جلگه‌ای با ارتفاع متوسط ۱۸/۵ متر از سطح دریا واقع شده است. مهم‌ترین رودخانه‌ای که از محدوده شهری عبور کند رودخانه تجن می‌باشد که از ضلع شرقی حریم ساری با جهت جنوب به شمال می‌گذرد. شبکه هدایت آب‌های سطحی شهر ساری نیز متشکل از کانال‌هایی در طرفین و امتداد خیابان‌ها و معابر اصلی و کانپوها در معابر فرعی و کانال‌ها و نه‌رهای آبیاری می‌باشد. آب‌های سطحی جمع‌آوری شده از طریق انهار و مسیل‌ها و کانال‌های احداثی به سوی اراضی شمال و شمال شرقی و رودخانه تجن و نهر اسبیورد هدایت می‌شود [۶].

در شهر ساری متوسط بارندگی سالیانه ۷۳۰/۹ میلی‌متر می‌باشد، از نظر توزیع بارش ماهانه، آبان پر باران‌ترین و آذر و مهر از ماه‌های پر باران هستند. مرداد کم باران‌ترین و نیز تیر و خرداد از ماه‌های کم باران بوده‌اند. از نظر توزیع فصلی بارش، پاییز بیشترین مقدار بارش، بعد از آن به ترتیب زمستان، تابستان و بهار کمترین مقدار بارش را داشته‌اند [۱۱].

میزان جمعیت مهم‌ترین ویژگی اجتماعی موثر بر توسعه شهری می‌باشد که در این شهر طی ۵۰ سال اخیر ۱۰ برابر افزایش یافته است.

1. Hou
2. Mignat
3. Yu & Coulthard

4. Jia
5. Zelenakova



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهر ساری

و شبیه‌سازی سیلاب در بلوک انتقال توسعه یافته (EXTRAN) مدل MIKE SWMM

۷. سنجش توانایی یا عدم توانایی شبکه در عبور سیلاب‌های طراحی
۸. شناسایی گره و مسیرهای بحرانی در صورت عدم کفایت شبکه زهکشی
۹. تبدیل فایل‌های ورودی و خروجی به فرمت MIKE VIEW، برنامه جانبی این مدل برای رویت پلان اطلاعات و نیم رخ‌های طولی مجاری

جهت تعیین مبنا برای طراحی پروژه‌های مدیریت سیلاب، نیاز به تعیین رگبارهای طرح می‌باشد. انتخاب دوره بازگشت رگبار طرح به عوامل مختلفی چون اهمیت سازه در دست طراحی، هزینه‌های اجرای طرح، میزان سازه‌های حفاظتی زهکشی طرح و خسارت ناشی از تخریب سازه بستگی دارد [۹]. با توجه به کوچک بودن حوزه‌های شهری و به تبع آن زمان تمرکز کوتاه و همچنین ضریب رواناب بالا که پاسخ هیدرولوژیکی سریع را به دنبال دارد رگبار طرح ۲، ۴ و ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال برای شبیه‌سازی سیلاب‌های شهری ساری در نظر گرفته شد. یکی از چالش‌های مهم در طراحی‌های هیدرولیکی الگوی توزیع زمانی بارش می‌باشد که نحوه تغییر شدت بارش را در طول مدت بارندگی نشان می‌دهد [۴]. در این پژوهش از روش بارش «ین و چاو» استفاده شده که این روش بر مبنای هایتوگراف مثلی بی بعد پایه‌ریزی شده است. ین و چاو در سال ۱۹۸۰ با تجزیه و تحلیل بیش از ۲۵۰ هزار رگبار ثبت شده در سراسر ایالات متحده آمریکا، هایتوگراف بدون بعد رگبار طرح مثلی را توسعه دادند و نقشه زمان وقوع نقطه اوج رگبار را برای کل کشور بدست آوردند [۱۶، ۱]. طبق تحقیقات انجام گرفته در بین روش‌های ارائه الگوی توزیع زمانی بارش، به ترتیب روش‌های «ین و چاو»، «شیکاگو» و «بلوک ساختگی» برای مدت زمان سیلابی و همچنین حجم کل سیلاب خارج شده از شبکه بیشترین مقادیر را دارا می‌باشند و نظر به اینکه روش‌های شیکاگو و بلوک ساختگی به نتایج روش ین و چاو نیاز دارند و همچنین مقادیر برآوردی برای مدت زمان سیلابی

مرکز این شهر با توسعه شعاعی آشفته، از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵، ۲۷۴۲ هکتار افزایش مساحت داشته است. تعداد پارک‌ها و فضاهای سبز به احتساب درختان حاشیه خیابان‌ها ۳۷ هکتار می‌باشد که در مقابل ۳۰۰۰ هکتار مساحت تقریبی شهر از منظر وجود فضای باز، مقدار کمی به نظر می‌آید. در ساری از سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۸۷، ۴۲۵ هکتار اراضی زیر کشت و جنگلی به اراضی مسکونی و تجاری تبدیل شده است [۱۱].

روش پژوهش

به‌منظور بررسی اثرات ناشی از کمیت سیلاب در حوزه‌های شهری روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شود که یکی از این روش‌ها شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌باشد که به نسبت سایر مدل‌ها پاسخ سریع‌تری در مقابل بارندگی از خود نشان می‌دهند و همچنین به دلیل داشتن فاکتورهای بیشتری نظیر جوی‌ها، خیابان‌ها، فاضلاب‌ها، مجاری تحت فشار، شبکه زهکشی سیلاب، کالورت‌ها، کانال‌های روباز، ذخیره روی سقف‌ها، مجاری روباز طبیعی و مخازن، ساختار پیچیده تری دارند.

گام‌های مطالعاتی پژوهش:

۱. تجزیه و تحلیل رگبارهای منطقه مورد مطالعه، ترسیم منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی، تعریف رگبارهای طرح و ترسیم الگوهای توزیع زمانی بارش با تداوم‌های ۲، ۴ و ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال
۲. تقسیم‌بندی منطقه به واحدهای هیدرولوژیک و تعیین خصوصیات فیزیوگرافیکی آن‌ها
۳. تعیین ضریب زبری و همچنین تعیین درصد نفوذناپذیری هر یک از زیرحوزه‌ها
۴. انجام مطالعات فاز هیدرولوژیک، روندیابی جریان سطحی (مدل بارش - رواناب) و شبیه‌سازی سیلاب در بلوک رواناب (RUNOFF) مدل MIKE SWMM
۵. جمع‌آوری و ورود اطلاعات هیدرولیکی شبکه زهکشی و بارگذاری اطلاعات رواناب به مرحله بعدی
۶. انجام مطالعات هیدرولیکی، روندیابی جریان در سیستم زهکشی

و حجم کل سیلاب خارج شده از شبکه بیشتر از دو روش دیگر است، لذا از روش ین و چاو در مدل MIKE SWMM به منظور شبیه سازی بارش - رواناب استفاده شده است [۹].

در این مدل برای محاسبات رواناب از بیلان جرمی استفاده شده که شامل ذخیره سطحی، ذخیره خاک کم عمق و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی می باشد. شرایط سیلابی در روی سطح زمین در حالت دو بعدی با استفاده از معادله موج آب کم عمق قابل شبیه سازی است. یک بیلان رسوب هم برای محاسبه فرسایش و رسوب گذاری در مدل منظور شده است [۵]. تحلیل های هیدرولوژیکی پژوهش حاضر در مدل MIKE SWMM و توسط بلوک رواناب انجام شده است. بلوک رواناب، رواناب سطحی را در پاسخ به بارش برآورد می نماید. کلید استفاده از این بلوک تفکیک حوزه به زیرحوزه های نسبتاً همگن می باشد که این تقسیم بندی بر اساس نقشه های رقومی ارتفاعی، نقشه کاربری اراضی، نقشه شیب، نقشه شبکه جمع آوری آب های سطحی شهر ساری در وضعیت موجود و بازدیدهای میدانی شکل می گیرد. سطح هر زیرحوزه به صورت یک مخزن غیرخطی با یک ورودی منفرد بارش عمل می کند و خروجی هایش شامل نفوذ، تبخیر و رواناب سطحی می باشد. ظرفیت این مخزن برابر است با حداکثر ذخیره نگهداشت^۱ و رواناب سطحی نیز هنگامی اتفاق می افتد که عمق آب در مخزن از حداکثر ذخیره نگهداشت بیشتر شود. همچنین آب ذخیره شده در اثر نفوذ و تبخیر کاهش می یابد. این فرایند به وسیله دو معادله مدل سازی می شود که اولی عبارتست از معادله پیوستگی که حجم یا عمق آب را بر روی سطح زیرحوزه در نظر می گیرد و معادله دوم بر اساس معادله مانینگ است و برای مدل سازی میزان رواناب سطحی بصورت تابعی از عمق جریان مورد استفاده واقع می شود [۲].

تعیین خصوصیات فیزیوگرافی، ضریب زبری، درصد سطوح نفوذناپذیر و پارامترهای نفوذ برای هر زیرحوزه نیز از ملزومات می باشد. به منظور تعیین درصد سطوح نفوذناپذیر هر زیرحوزه به عنوان مهم ترین عامل وقوع سیلاب های شهری، از نقشه کاربری اراضی استفاده می شود. در هر زیرحوزه برای واحدهایی که دارای چند کاربری هستند مساحت قسمت های مذکور توسط نرم افزار Arc GIS 10 اندازه گیری شده و ضریب رواناب به صورت وزنی محاسبه گردید. جهت تعیین ضریب زبری جریان بر روی انواع سطوح و همچنین مقادیر ضریب رواناب از مقادیر توصیه شده برای کاربری های مختلف زمین و جنس خاک توسط ASCE (۱۹۸۳) استفاده گردید. متوسط ضریب زبری انتخاب شده برای سطوح نفوذناپذیر برابر ۰/۱۵ و سطوح نفوذپذیر برابر ۰/۱ می باشد. پارامترهای نفوذ هورتنی برداشت شده به روش دبل رینگ که بر اساس نوع خاک منطقه در مدل منظور شده اند شامل شدت نفوذ اولیه، شدت نهایی و ضریب کاهشی می باشد. تحلیل های هیدرولیکی نیز در این مدل توسط بلوک انتقال توسعه یافته (EXTRAN) انجام می گیرد، بلوک EXTRAN از شکل کامل معادلات سنت و نانت

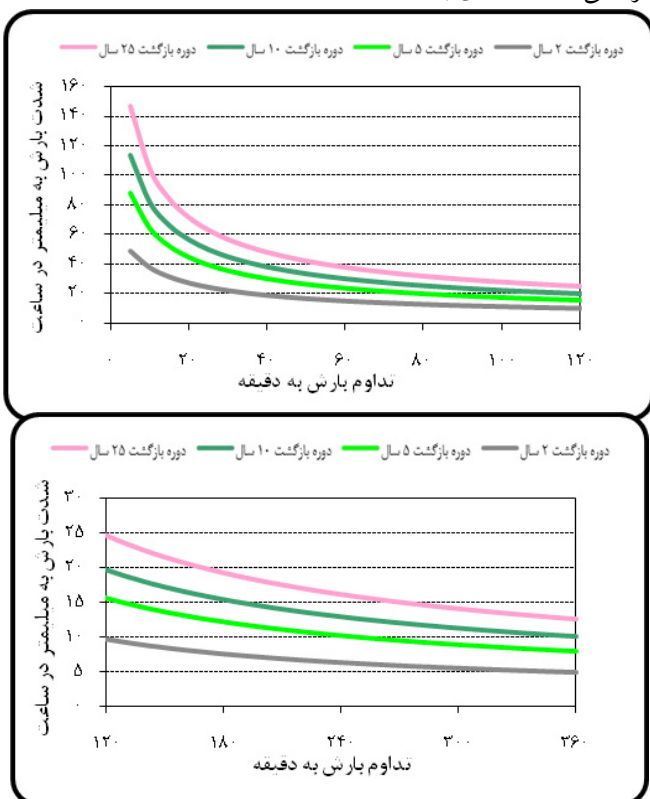
1. Depression Storage

برای مدل سازی روندیابی جریان استفاده می کند. این معادلات عبارتند از معادله اندازه حرکت و معادله پیوستگی [۵]. جریان ورودی به سیستم در محل گره ها رخ می دهد و عملکرد مجاری آبرو، گره ها یا نقاط اتصال، سازه های انحرافی، ایستگاه های پمپاژ، حوضچه های ذخیره و سازه های خروجی با استفاده از این بلوک قابل مدل سازی هستند. به عبارتی در جزء اول این مدل سیلاب شهری، مدل سازی بارش - رواناب (تولید رواناب سطحی و زیرسطحی از بارش مازاد) و در جزء دوم مدل سازی انتقال (روندیابی جریان در سازه های آبی نظیر کانال های روباز، شبکه های لوله ای و مخازن) صورت می پذیرد. بعد از انجام شبیه سازی ها گره و مسیرهای بحرانی توسط معیار وجود یا عدم وجود اضافه بار شناسایی می گردد.

یافته های پژوهش

یافته های تجزیه و تحلیل باران

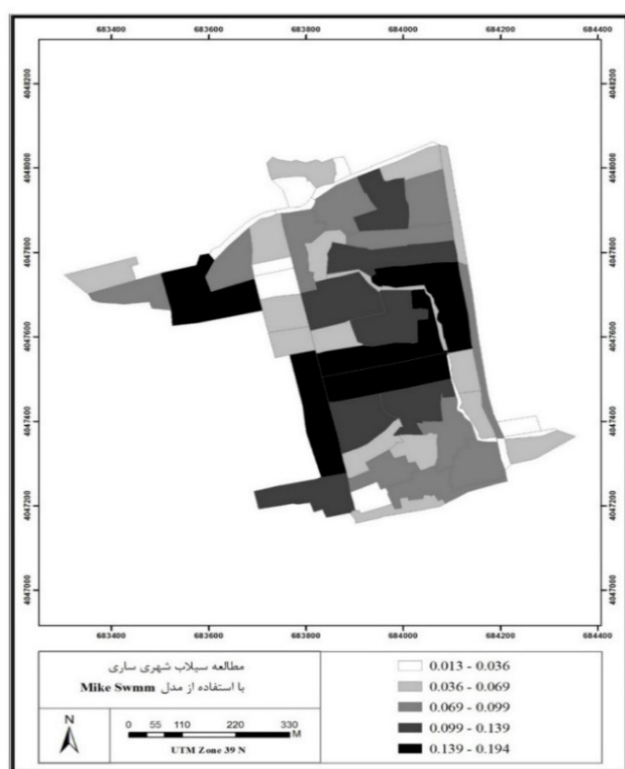
به منظور انجام بررسی های مرتبط با بارندگی شهر ساری از اطلاعات رگبارهای ایستگاه محوطه اداره آب منطقه ای ساری استفاده شده که مجموعاً ۳۴۲ رگبار طی سال های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۸ در این ایستگاه ثبت گردیده که ارقام مربوط به مقادیر رگبارها از گراف های ثبات در هر ۱۵ دقیقه استخراج شده است. بعد از ترسیم دسته منحنی های شدت - مدت - فراوانی به منظور تعیین شدت بارندگی ها، به انتخاب رگبارهای طرح و ترسیم الگوهای توزیع زمانی بارش پرداخته شده است. در شکل ۲ نمودار شدت - مدت - فراوانی در دوره های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال ارائه شده است.



شکل ۲: نمودار شدت - مدت - فراوانی ۲ تا ۲۵ سال و ادامه آن

یافته‌های مطالعات و شبیه‌سازی توام هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب‌های شهری ساری

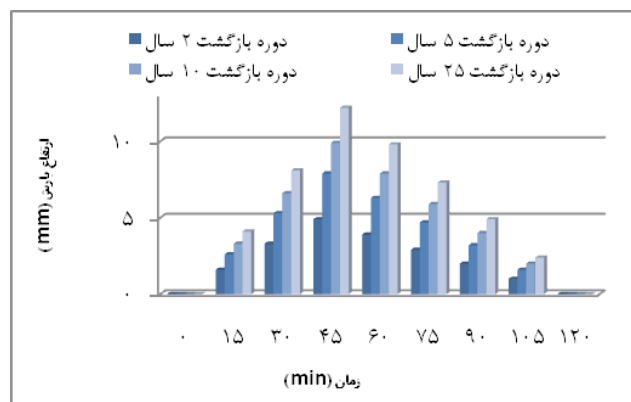
برای انجام مطالعات هیدرولوژیکی نیاز به اطلاعات مربوط به واحدهای هیدرولوژیکی حوزه مورد مطالعه می‌باشد. بنا بر تقسیم بندی انجام گرفته منطقه به مساحت ۳۹/۶۴ هکتار به ۵۱ زیرحوزه به همراه معرفی گره‌های خروجی تفکیک شدند. اطلاعات فیزیکی زیرحوزه‌ها و اطلاعات بازندگی منطقه در دوره‌های بازگشت مورد نظر به منظور برآورد مقادیر دبی اوج سیلاب ناشی از واحدهای هیدرولوژیکی به بلوک رواناب مدل MIKE SWMM داده شده و به این ترتیب عمق رواناب و دبی اوج به تفکیک نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و همچنین مقدار کل رواناب و دبی اوج هر زیرحوزه شبیه‌سازی شد. مقادیر دبی اوج زیرحوزه‌ها که نشان دهنده سهم هر واحد هیدرولوژیکی در تولید رواناب می‌باشد، توسط بلوک رواناب نرم افزار MIKE SWMM شبیه‌سازی و وارد نرم افزار Arc GIS10 شده و نقشه آن در شکل (۶) نمایش داده شده است.



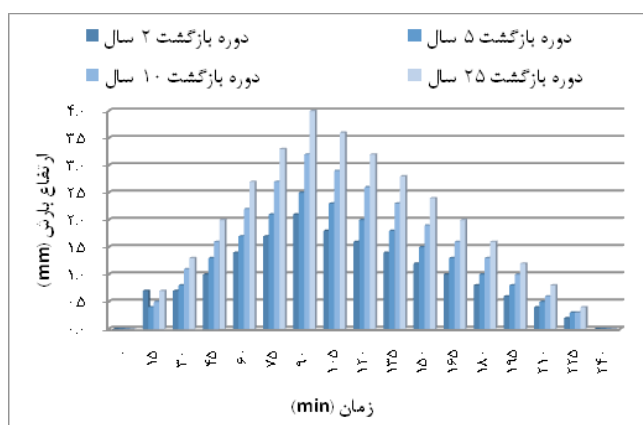
شکل ۶: دبی اوج (فوت مکعب بر ثانیه) زیرحوزه‌های منطقه مورد مطالعه

اطلاعات بلوک رواناب در بلوک انتقال توسعه یافته مدل مذکور بارگذاری شده و به همراه اطلاعات هیدرولیکی مجاری و گره‌های شبکه هدایت آب‌های سطحی، روندیابی سیل در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه انجام شد. وضعیت قرارگیری گره‌ها در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شکل (۷) نشان داده شده است.

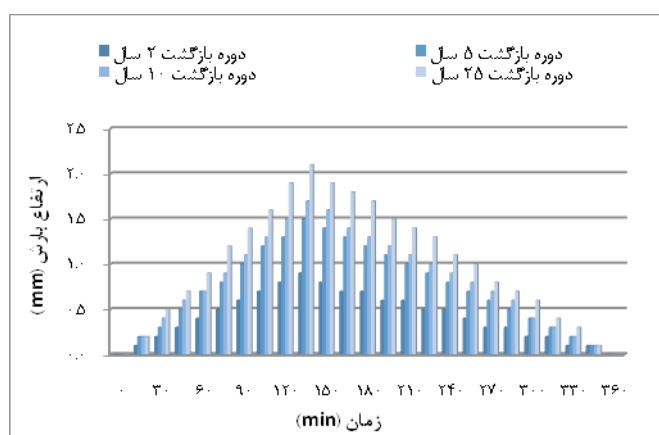
از بین رگبارهای ثبت شده در طول دوره ۲۵ ساله مجموعاً ۴۵ رگبار دارای مقداری بیش از میانگین بودند که وارد محاسبات روش ین و چاو شدند. در این روش نسبت زمان وقوع اوج رگبار به مدت زمان بازندگی (tp/td) برای ساری ۰/۳۹۲ محاسبه شد. در نهایت هایتوگراف‌های بارش ترسیم شده است که در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) نمایش داده شده‌اند.



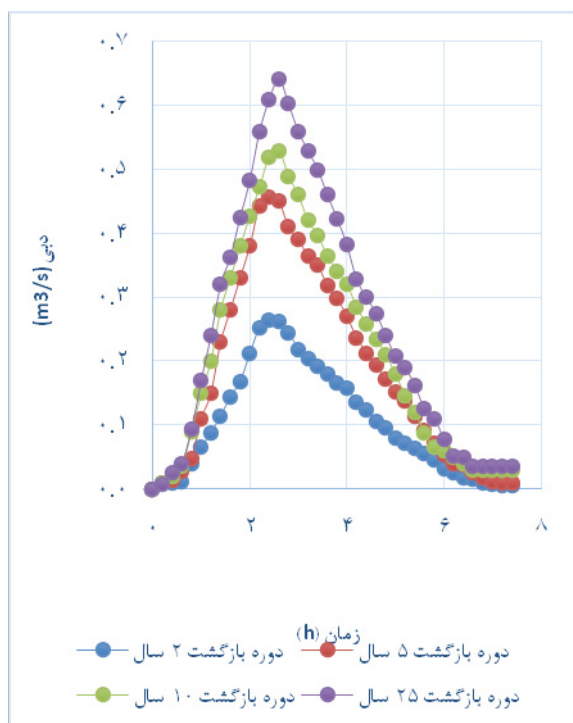
شکل ۳: هایتوگراف بارش رگبارهای طرح ۲ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال



شکل ۴: هایتوگراف بارش رگبارهای طرح ۴ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال

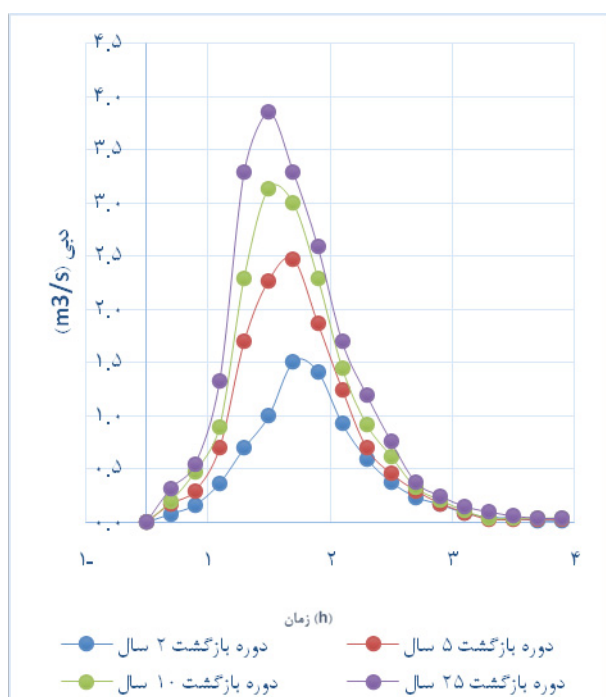


شکل ۵: هایتوگراف بارش رگبارهای طرح ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال

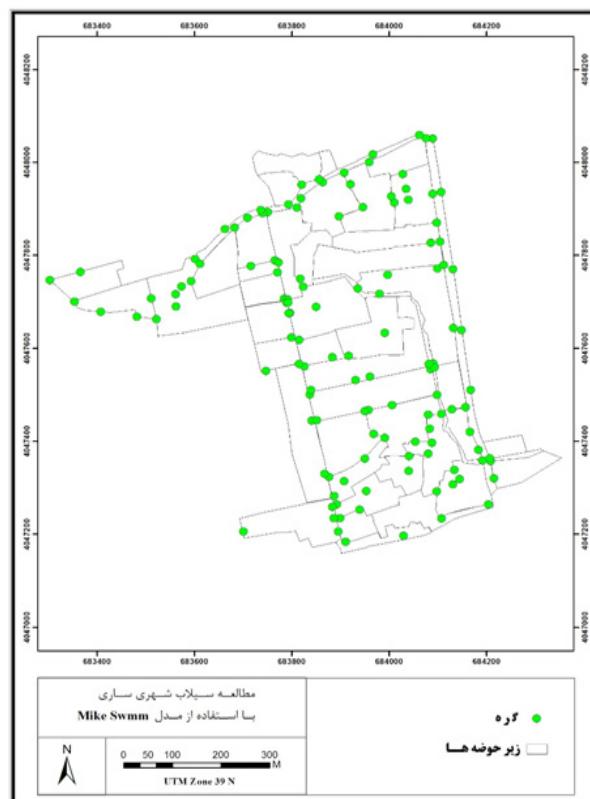


شکل ۸: هیدروگراف حاصل از بارش با تداوم ۲ ساعت در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال

کیلومتر از شبکه را به خود اختصاص داده که بیشترین فراوانی را در بین کانال‌های مستطیلی با ابعاد دیگر دارد. پس از آن کانال مستطیلی با ابعاد 50×35 با حدود یک کیلومتر طول در رتبه دوم قرار گرفته است. هیدروگراف‌های خروجی شبکه زهکشی در اشکال ۸، ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است.

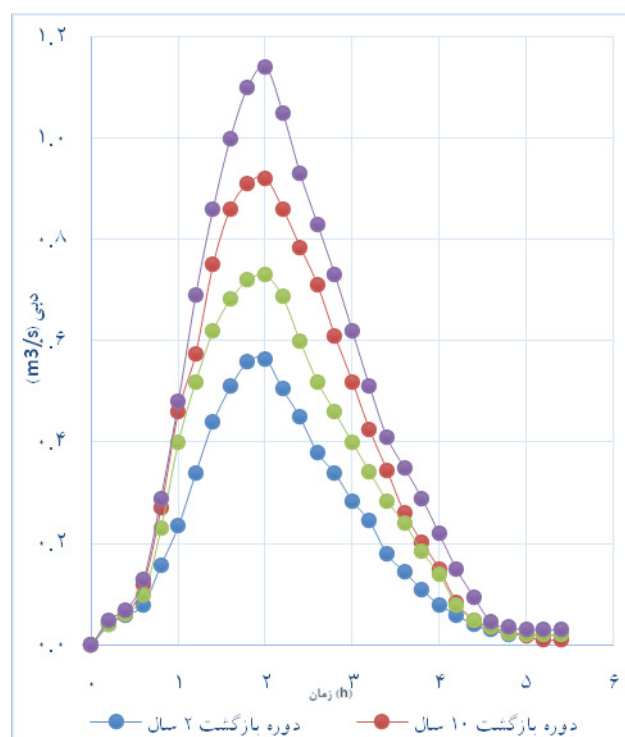


شکل ۱۰: هیدروگراف حاصل از بارش با تداوم ۶ ساعت در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال



شکل ۷: موقعیت قرارگیری گره‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی به تفکیک واحدهای هیدرولوژیکی

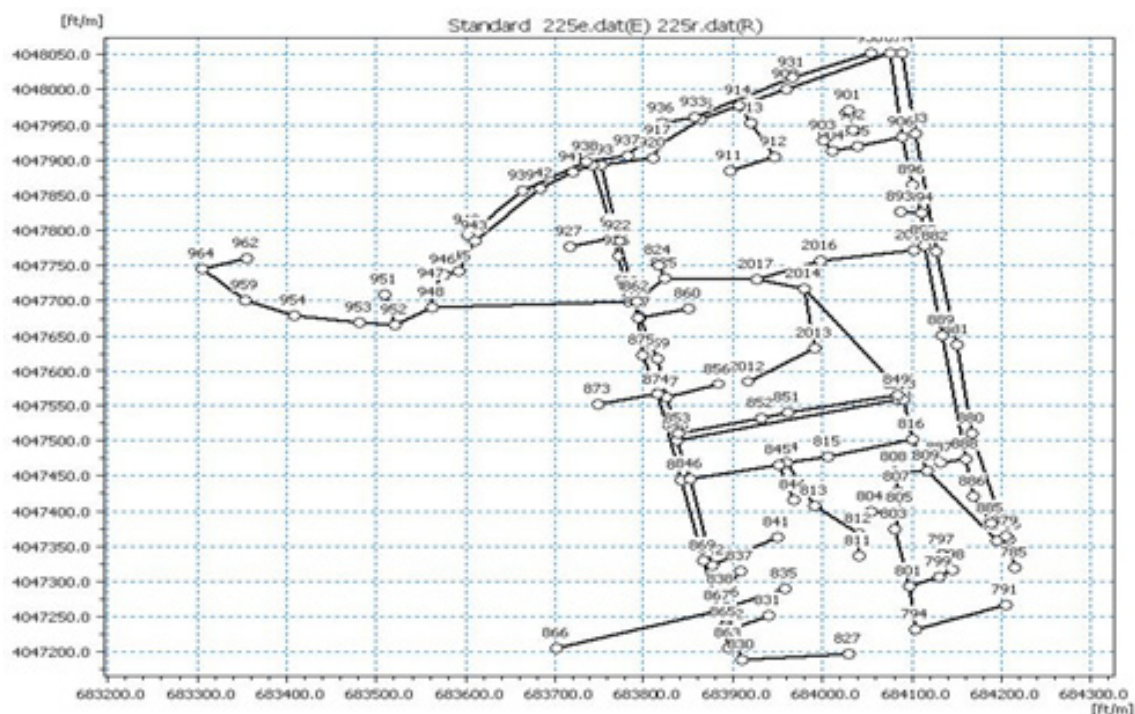
در محدوده مورد مطالعه اطلاعات ۱۲۶ کانال با مقطع مستطیلی به مدل وارد شد. در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه کانال مستطیلی با ابعاد ۳۰ سانتی متر ارتفاع و ۳۰ سانتی متر عرض حدود $4/5$



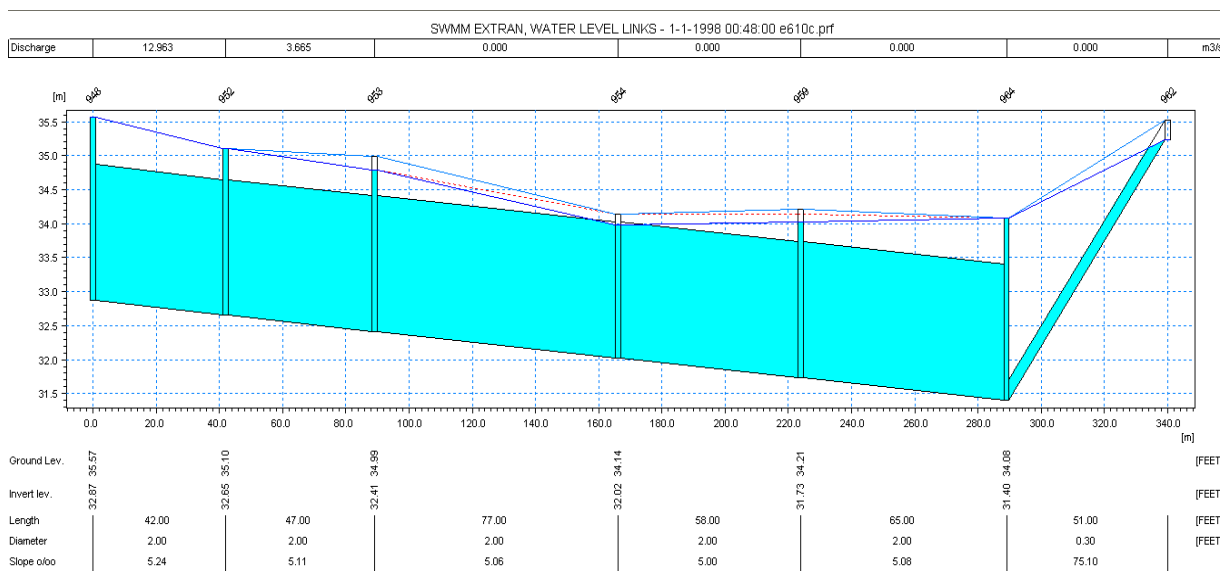
شکل ۹: هیدروگراف حاصل از بارش با تداوم ۴ ساعت در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال

وضعیت پارامترهای مهم در تحلیل سیلاب را می‌توان در نرم افزار جانبی MIKE VIEW در قالب نیمرخ طولی مجاری رویت کرد. که برای مثال نیم رخ طولی از ۷ گره بحرانی در مسیر خروجی حوزه در دقیقه ۴۸ از شروع شبیه‌سازی برای باران طرح ۶ ساعته در دروه بازگشت ۱۰ سال در شکل (۱۲) آورده شده است.

شکل (۱۱) شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه را که توسط مدل ارائه شده، نشان داده است. از نتایج فاز هیدرولیکی مدل می‌توان به تخمین پارامترهای مقدار اضافه بار و فاصله سطح زمین با حداکثر سطح آب در محل گره‌ها اشاره نمود. برای مجاری آبرو نیز حداکثر دبی، سرعت و نسبت حداکثر دبی طرح به حداکثر عمق بر روی کف مجرا در دو انتهای مسیر را برآورد می‌کند. همچنین



شکل ۱۱: شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده مورد مطالعه در مدل MIKE SWMM



شکل ۱۲: نیم رخ طولی از ۷ گره بحرانی در مسیرهای خروجی حوزه در دقیقه ۴۸ از شروع شبیه‌سازی برای باران طرح ۶ ساعته در دروه بازگشت ۱۰ سال در MIKE VIEW

معرفی گره و مسیرهای بحرانی و پیشنهاد ابعاد مناسب

وجود و یا عدم وجود اضافه بار و شرایط سیلابی در محل گره‌ها معیاری برای بررسی قابلیت شبکه در عبور دادن آب‌های سطحی حاصل از رگبارها می‌باشد. بنابراین در صورتی که در محل گره، اضافه بار و شرایط سیلابی وجود داشته باشد به این معنی است که کانال پایین‌دست این گره توانایی عبور دادن سیلاب حاصل از باران طرح را نداشته و باید ابعاد کانال اصلاح گردد. توسط این معیار گره‌های بحرانی در دوره‌های بازگشت متفاوت شناسایی شده‌اند. در این مطالعه به ازای ۱۲ رگبار طرح که حاصل ترکیب سه تداوم رگباری ۲، ۴ و ۶ ساعته با چهار دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال می‌باشد، بعد از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و بارگذاری آن در بلوک

انتقال توسعه یافته و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سیلاب منطقه ۳۹ گره بحرانی براساس معیار معرفی شده شناسایی شد. پراکندگی این گره‌ها اغلب در مناطق خروجی حوزه، در خیابان‌های فارابی، مازیار و خاقانی است که جزء زهکش‌های اصلی حوزه هستند. ۳۹ گره شناسایی شده از بین ۱۲۷ گره موجود، در هر ۱۲ حالت مذکور دارای اضافه بار بوده‌اند. در جدول ۱ مشخصات برخی از مسیرهای شبکه زهکشی که در رگبار طرح ۶ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال دچار وضعیت آب‌گرفتگی شده اند آورده شده است و در جدول ۲ نیز اطلاعات گره‌های بالادست و پائین دست مسیرهای معرفی شده در جدول ۱ را می‌بینید. در شکل (۱۳) گره‌های دارای شرایط سیلابی را نمایش داده است.

جدول ۱: مشخصات برخی از مسیرهای بحرانی شبکه زهکشی

نام مسیر	گره بالادست	گره پائین دست	مشخصات مجرا			حداکثر دبی		زمان وقوع	
			m عمق	m عرض	m طول	% شیب	CMS	min	hr
A	۹۵۴	۹۵۹	۲	۲	۵۸	۵	۰,۱۵	۱۲	۵
A	۹۵۹	۹۶۴	۲	۲	۶۵	۵,۰۸	۰,۱۶	۳۰	۲
A6	۹۲۰	۹۲۳	۰,۸	۰,۸	۶۵	۳,۵۴	۰,۰۴	۶	۵
A6-2	۹۲۶	۹۲۸	۰,۳	۰,۳	۲۵	۴	۰,۰	۴۲	۱
A6-2	۹۲۸	۹۲۹	۰,۳	۰,۳	۱۰۶	۱۱,۳	۰,۰	۱۷	۴
A6-5-2	۸۹۴	۸۹۶	۰,۳۵	۰,۴	۴۱	۲,۴۴	۰,۰۱	۱۸	۱
A6-5-1	۹۰۶	۹۰۷	۰,۶	۰,۶	۱۲۰	۱,۴۲	۰,۰۲	۳۰	۲
A7	۸۷۴	۸۷۵	۰,۳۵	۰,۵	۵۷	۴,۳۹	۰,۰۱	۲۱	۱
A8	۸۴۶	۸۴۸	۰,۶۵	۰,۷	۵۹	۵,۴۲	۰,۰۲	۵۰	۴
A8	۸۵۷	۸۵۹	۰,۶۵	۰,۷	۵۷	۵,۶۱	۰,۰۵	۳	۲

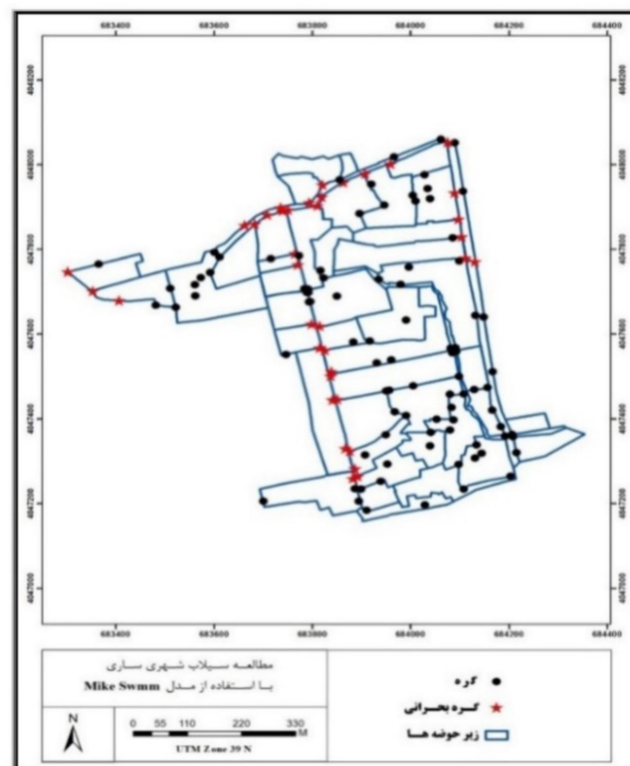
جدول ۲: مشخصات برخی از گره‌های بحرانی شبکه زهکشی

شماره	موقعیت جغرافیایی		رقوم بالای مجرا	رقوم کف مجرا	مقدار اضافه بار
گره	X	Y	m	m	m
۹۲۰	۶۸۳۸۱۰,۷	۴۰۴۷۹۰۲,۹	۳۷,۲۸	۳۶,۴۸	۰,۱۷
۹۲۳	۶۸۳۷۵۰,۸	۴۰۴۷۸۹۳,۳	۳۷,۰۵	۳۶,۲۵	۰,۱۷
۸۹۶	۶۸۴۱۰۰,۳	۴۰۴۷۷۶۴,۵	۳۹,۷۷	۳۹,۴۲	۰,۱۴
۸۹۴	۶۸۴۱۱۱,۴	۴۰۴۷۸۲۴,۶	۳۹,۸۷	۳۹,۵۲	۰,۱۲
۹۰۷	۶۸۴۰۷۵,۸	۴۰۴۸۰۵۲,۷	۳۸,۲۸	۳۷,۴۸	۰,۰۷
۹۰۶	۶۸۴۰۸۹,۹	۴۰۴۷۳۲,۶	۳۸,۷۵	۳۸,۱۵	۰,۱۶
۸۷۴	۶۸۳۸۱۵,۴	۴۰۴۷۵۶۶,۹	۳۹,۵۸	۳۹,۲۳	۰,۲۷
۸۷۵	۶۸۳۷۹۹,۲	۴۰۴۷۶۲۳,۷	۳۹,۲۸	۳۸,۷۸	۰,۲۲
۸۵۷	۶۸۳۸۲۶,۱	۴۰۴۷۵۶۱,۵	۳۸,۷۱	۳۸,۰۶	۰,۵۱
۸۵۹	۶۸۳۸۱۵,۷	۴۰۴۷۶۱۸,۳	۳۸,۳۹	۳۷,۷۴	۰,۳۸
۸۴۸	۶۸۳۸۳۷,۴	۴۰۴۷۵۰۱,۰	۳۹,۴۳	۳۸,۷۸	۰,۴۳
۸۴۶	۶۸۳۸۵۱,۶	۴۰۴۷۴۴۵,۶	۳۹,۷۵	۳۹,۱	۰,۳۴
۹۲۸	۶۸۳۷۶۵,۵	۴۰۴۷۷۸۹,۷	۳۸,۲	۳۷,۹	۰,۰۸
۹۲۶	۶۸۳۷۷۰,۸	۴۰۴۷۷۶۳,۶	۳۸,۳	۳۸	۰,۰۸
۹۲۹	۶۸۳۷۴۲,۰	۴۰۴۷۸۹۲,۱	۳۷	۳۶,۲	۰,۱۷
۹۴۵	۶۸۳۵۹۲,۶	۴۰۴۷۷۴۲,۴	۳۵,۷۶	۳۴,۹۶	۰,۰۵
۹۴۶	۶۸۳۵۷۵,۴	۴۰۴۷۷۳۶,۷	۳۵,۶۲	۳۴,۸۲	۰,۰۱
۹۶۴	۶۸۳۳۰۵,۸	۴۰۴۷۷۴۴,۸	۳۳,۴	۳۱,۴	۰,۲۱

فارابی و خاقانی و خروجی حوزه مورد مطالعه می‌باشد، چراکه گره‌های موجود در این خیابان‌ها اغلب در خروجی زیرحوزه‌ها واقع شده‌اند و به عبارت دیگر جزء ۵۱ گره کلیدی دورن شبکه می‌باشند که تمامی رواناب تولیدی در سطح هر زیرحوزه باید از این گره‌ها خارج شوند. ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی با مدل مورد استفاده به همراه داده‌های هیدرومتری و بارشی دقیق توانسته دقت مدل‌سازی را افزایش دهد که با نتیجه‌گیری تاجبخش و خداشناس [۱۳] هم‌خوانی دارد. لازم به ذکر است که شکل و ویژگی زیرحوزه‌ها، بر وقوع سیلاب تاثیر دارند و نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که مسیرهایی با شیب ملایم به ناچار باید دارای ابعاد بزرگتری باشند تا کفایت عبور رواناب را داشته باشند که این کانال‌ها با شیب کم و دبی عبوری بالا جزء نقاط بحرانی شبکه خواهند بود. ضمناً بعد از انجام بررسی دبی و سرعت محاسبه شده برای مجاری قبل و بعد از اصلاح و همچنین مقایسه هیدروگراف‌های خروجی شبکه به ازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال و رگبار طرح ۲ ساعته، ملاحظه شد که این مقادیر بعد از اصلاح ابعاد رقم بیشتری را نشان می‌دهند و در واقع سرعت و دبی جریان به نسبت قبل از اصلاح افزایش داشته است. علت این امر نیز می‌تواند افزایش ظرفیت شبکه در عبور سیلاب طراحی باشد، به عبارت دیگر در زمان قبل از اصلاح در گره‌های بحرانی بخشی از دبی که باید از کانال‌ها عبور می‌کرده و به نقاط خروجی و امن شبکه می‌رسید در اثر وقوع شرایط سیلابی به بیرون از شبکه ریخته و حالت آب‌گرفتگی را ایجاد می‌نمود و این امر موجب می‌شد تا دبی در نقاط خروجی شبکه کمتر از وضعیت بعد از اصلاح باشد، نتیجه حاصله به ماهیت مدل MIKE SWMM باز می‌گردد که این امر در یافته‌های علی بخشی [۲] تأیید شده است. در مجموع به کمک مدل MIKE SWMM، منطق با شریفان و همکاران [۱۲] به شناسایی مجاری بحرانی و بررسی سطح آب موجود در منهول‌های شبکه سیستم زهکشی پرداخته شد و با پیشنهاد اصلاح ابعاد، شرایط به گونه‌ای مهیا شد تا در هنگام وقوع سیلاب طراحی، میزان تداوم شرایط سیلابی و اضافه بار به طور کامل حذف و یا به حداقل ممکن برسد که این امر هم‌راستا با پژوهش‌های سایرین در این زمینه از جمله کریمی [۹] و علی بخشی [۲] می‌باشد.

پیشنهادهای

به منظور انجام مطالعات دقیق و برنامه‌ریزی‌های اصولی نیاز به داده‌های دقیق و در دسترس می‌باشد که عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی دقیق و با کیفیت خوب و نبود تجهیزات اندازه‌گیری در سطح شهرها در روند مطالعات اختلال ایجاد می‌کند. همچنین به کارگیری روش‌های بیولوژیکی علاوه بر تلطیف هوای شهر و افزودن به زیبایی‌های شهری موجب افزایش نفوذپذیری شده و با نفوذ قطرات باران قبل از روان شدن آن در سطح خیابان‌ها از مشکل آب‌گرفتگی در هنگام بارش باران می‌کاهد. بهتر است تأثیر تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر روند وقوع و حجم سیلاب‌های شهری ساری نیز بررسی شود. از آن‌جا که شدت بارندگی با تغییرات



شکل ۱۳: گره‌های بحرانی در محدوده مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

میزان کفایت شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در حوزه مورد مطالعه، با این رویکرد که منطقه با معضل آب‌گرفتگی معابر مواجه است مورد ارزیابی قرار گرفت، که برخی از مجاری دورن شبکه بحرانی شناسایی شدند. با تلفیق نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و اطلاعات هیدرولوژیکی شبکه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی صورت گرفت که میزان اضافه بار در هر گره و زمان وقوع دبی اوج در محل گره‌ها و همچنین فاصله سطح زمین تا حداکثر سطح آب در محل گره و حداکثر دبی و سرعت قابل عبور در مجرا و زمان وقوع دبی و سرعت حداکثر از جمله اطلاعات تخمینی مدل می‌باشد.

شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه در وضعیت موجود نشان داد که ۳۹ گره در تمامی رگبارهای طرح دارای شرایط بحرانی می‌باشند که مجاری منتهی به این گره‌ها قابلیت عبور تمامی رواناب‌های حاصل از سیلاب‌های طراحی را نداشته‌اند و این امر منجر به وقوع شرایط سیلابی می‌گردد، این وضعیت ممکن است در برخی از گره‌ها به حدی طولانی شود که موجب بروز مشکلات جدی در خصوص تردد و آب‌گرفتگی معابر گردد. به منظور رفع شرایط سیلابی در شبکه نیاز به شناسایی گره و مسیرهای بحرانی در تمامی تداوم رگبارها و دوره‌های بازگشت می‌باشد. نتایج حاصل از مدل به خوبی نشان می‌دهد که محل‌های آب‌گرفتگی یا به عبارت بهتر مقاطعی که کانال‌های موجود توانایی حمل جریان حاصل از حوزه‌های این خیابان را ندارند، شامل خیابان‌های مازیار،

Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. *Journal of Hydrology*. 327: (186-199)

11. Shabani, M. 2010. A Quantitative and Qualitative Investigation of Urban Parks Using Fuzzy AHP. M.Sc. Thesis. Sari Payame noor university (PNU). (in Persian)

12. Sharifan, R.A., Roshan, A., Aflatoni, M., Jahedi, A., Zolghadar, M. 2010. Uncertainty and sensitivity Analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and sub catchment peak flood, *Procedia socedia social and behaviored sciences*. 12: (7739-7741)

13. Tajbakhsh, M., S.R., Khodashenas. 2011. Revision of Surface- Runoff Drainage System by Simulation and Application of Retention Basins (Case Study: East Eghbal Catchment, Mashhad). *Denesh e Ab va Khak*. 22: (109 – 123). (in Persian)

14. Tucci, C.E.M. 2013. Urban Flood Management. (Translated by Rashidi Mehrabadi, M.s). Tehran: Nouavar. 176 pages.

15. Zelenakova, M., Diaconu, D.C. and Haarstad, K. 2017. Urban Water Retention Measures. *Procedia Engineering*. 190: 419 – 426.

16. Yen, B. C. and Chow, V. T. 1980. Design Hyetographs for Small Drainage Structures. *Journal, Hydraulic Division, ASCE*, 106 (HY6): 1055-1076.

17. Yu, D. and Coulthard, T.J. 2015. Evaluating the importance of catchment hydrological parameters for urban surface water flood modelling using a simple hydro-inundation model. *Journal of Hydrology*. 524: 385-400.

مکانی و زمانی دچار تغییر می‌شود، بهتر است علاوه بر لحاظ نمودن تغییرات زمانی بارش در مطالعات سیلاب شهری، به تغییرات مکانی بارش هم دقت شود.

منابع

1. Akan, O. 2002. Urban stormwater hydrology.. Shahid chamran Ahvaz. (Translated by Bromand nasab, S)

2. Alibakhshi, Sh. 2007. Analysis and simulation of flooding in surface water collecting network using computer model (Case study: Tehran s District 22). M.Sc. Thesis, Mazanderan university. (in Persian)

3. Badieizade, S. Song, T. 2015. Calibration and Evaluation of the Hydrologic- Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan). *Journal of Watershed Management Research*. 7 (14): 1-10. (in Persian)

4. Baniasadi, M. 2011. Design storm estimating in Kerman. *Kerman Irrigation and Water Engineering*. 2: (62-74). (in Persian)

5. Danish Hydraulic Institute. 2005. MIKE SWMM User Guide. DHI Water and Environment. Denmark.

6. Emami, A., Sayadi, K. 1998. Sari Surface water collection network. Report foundations project. Mahab Ghods. (in Persian)

7. Hou, M., Chen, S. & Chang, T. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. *Journal of Hydrology*. 234: (21-37)

8. Jia, H., Y. Lu, S.L. Yu, Y. Chen. 2012. Planning of LID_BMPs for urban runoff control: The case of Biejing Olympic village. *Separation and Purification Technology*. 84: (112_119)

9. Karimi, V. 2013. Analysis and simulation of urban flood BABOLSAR Using a Modeling of Storm events. Ph.D. Thesis. Sari agricultural sciences and natural resources university. (in Persian)

10. Mignat, E. Paquier, A. And Haider, S. 2006.



Abstract

Hydrological and Hydraulic Behavior Studies about Urban Flood through Part of the Sari City

G. Moafi*¹, M. Habibnejad Roshan², Valiollah Karimi³ and M. Shaabani⁴

Received: 2017/10/22 Accepted: 2019/02/22

Urban watershed shows quite different hydrological and hydraulic behavior from natural watershed. Cities, that located along the Caspian coastline, have been flooded annually several times by relatively extreme storms and it creates a negative outlook in the cities. Comprehensive planning, design and management of surface water drainage systems are essential for creating a safe environment for the citizens. Computer models control urban run-off. Studying area is 39.64 (ha) that it was divided into 51 sub-basins. The simulation of flooding in urban catchment basins for this study was required information such as climatic, topographic, hydrologic regime, current status of surface water collecting network and hydraulic properties. In this study, urban flooding is simulated by MIKE SWMM model. By applying this model, in term of hydrologic and hydraulic data of the drainage systems, capability of surface water collecting system were evaluated for safe passage wandering water with design storm for 2, 4 and 6 hours and return periods of 2, 5, 10 and 25. The critical nodes and channels were identified after simulation. In result, simulation also showed that some existing water channels in this region, have not capability of passing design floods and this inability causes extra load and creates flooding condition in ending nodes over critical routs. Thereby, this long-time condition creates serious difficulties in transportation system and make inundation in the roads.

Keywords: Urban watershed, Drainage system, Hydrologic simulation, Hydraulic simulation, Computer mode

1- Member of the faculty of watershed management group, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Corresponding Author, Email: Gildamoafi@yahoo.com

2- Member of the faculty of watershed management group, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Ph.D of watershed management, Haraz Technology Development and Promotion Center,

4- Ph.D of geography and urban planning, Tarbiat Modares University of Tehran,