Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره دهم/ بهار و تابستان ۱۳۹۱

بررسی کفایت شبکه زهکشی شهر ماسال و ارایه راهکارهای بهبود آن با استفاده از نرم‌افزار MIKESWMM

زهرا احمدی[۱]، علی شاهنظری [۲*]، رامین فضل اولی [۳] و افشین اشرف زاده [۴]

چکیده

امروزه مدیریت سیلاب و رواناب سطحی در محدوده شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق کفایت شبکه جمع-آوری آب‌های سطحی شهر ماسال برای عبور سیلاب طراحی بررسی شد. اطلاعات اقلیم، نقشه‌های توپوگرافی، طرح تفصیلی و کاربری اراضی برای شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی با استفاده از مدل کامپیوتری MIKESWMM تهیه شد. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با وارد کردن خصوصیات فیزیوگرافی، الگو و توزیع زمانی بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله در بلوک رواناب صورت گرفت. با انتقال کلیه اطلاعات بلوک رواناب به بلوک انتقال توسعه یافته و وارد کردن اطلاعات مربوط به مشخصات مجاری آبرو، گره‌ها، شرایط مرزی و خروجی‌ها در مدل، شبیه‌سازی هیدرولیکی انجام شد. نتایج نشان داد که شبکه موجود توانایی لازم برای عبور دادن سیلاب طراحی را نداشته و این موجب ایجاد اضافه‌بار و شرایط سیلابی در محل بعضی گره‌ها به‌مدت طولانی (بیش از ۳۶۰ دقیقه)، می‌شود. برای حل مشکل، ابعاد مناسب برای عبور سیلاب طرح تعیین شد به گونه‌ای که در هنگام وقوع سیلاب طراحی، میزان تداوم شرایط سیلابی و اضافه بار به طور کامل حذف و یا به حداقل ممکن (کمتر از ۱۵ دقیقه) برسد و براساس آن ابعاد مقاطع تیپ برای اجرا پیشنهاد شد. همچنین در این تحقیق آنالیز حساسیت مدل در بلوک رواناب انجام و عوامل مساحت و درصد نفوذناپذیری با شاخص حساسیت ۲، به‌عنوان مهمترین عوامل تأثیرگذار بر نتایج شبیه‌سازی مدل مشخص شدند.

واژه‌های کلیدی: زهکش شهری، رواناب سطحی، مدل موج دینامیکی و شهر ماسال.

ارجاع: احمدی ز. شاهنظری ع. فضل‌اولی ر. و اشرف‌زاده ا.۱۳۹۰. بررسی کفایت شبکه زهکشی شهر ماسال و ارایه راهکارهای بهبود آن با استفاده از نرم‌افزار MIKESWMM . مجله پژوهش آب ایران.

۱- دانش‌آموخته رشته سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
*** نویسنده مسئول:** aliponh@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰۵

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با افزایش شهرنشینی یکی از مشکلاتی که پس از بارندگی در شهرها اتفاق می‌افتد بالا آمدن سطح آب در معابر است. در بررسی سیستم‌های هدایت و دفع آب‌های سطحی در شهرها، مشخص شد که کانال‌های احداثی بعضاً دارای مقاطع هندسی با ابعاد مناسب نبوده و در هنگام احداث نیز ملاحظات اجرایی نظیر توپوگرافی و هیدرولیک جریان مورد توجه کامل قرار نگرفته‌اند (یاسایی ضمیر، ۱۳۸۱). به سبب پیچیده‌گی سیستم‌های زهکشی شهری، اجرای یک طراحی صحیح و نیز تأمین ظرفیت کافی برای این سیستم‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی امری ضروری است، چرا که استفاده از این مدل‌ها به انجام یک طراحی اقتصادی با ضریب اطمینان مطلوب کمک شایانی می‌کند. در سال‌های اخیر، کاربرد مدل‌های ریاضی در زمینه سیلاب شهری رشد زیادی داشته است. تاج‌بخش و خداشناس (۱۳۸۷) به کمک نرم‌افزار MIKESWMM، به ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی رواناب سطحی حوضه آبریز اقبال شرقی مشهد پرداختند. ملک محمدی و لطیفی (۱۳۸۹) با استفاده از نرم‌افزار SWMM سیستم زهکشی حوضه آبریز منطقه مهرآباد واقع در شهرستان نکا را شبیه‌سازی و با اعمال بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ ساله، نقاط سیل‌خیز شهر را مکان-یابی کردند. بارکو و همکاران (۲۰۰۸) مدل SWMM را در حوضه شهری سادرن کالیفرنیا واسنجی نمودند و از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برای وارد کردن اطلاعات و توزیع بارندگی مکانی استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از روش ترکیب GIS و مدل SWMM می‌تواند برای حوضه‌های آبریز بزرگ کاربردی باشد. لی و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه شبیه-سازی سیلاب شهری با استفاده از نرم‌افزار MIKESWMM، در دهکده المپیک چین پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که مقدار رواناب در برخی انتقال-دهنده‌ها، بیش از ظرفیت طراحی شده موجود می‌باشد و اصلاح سیستم زهکشی را پیشنهاد کردند.

آب‌گرفتگی معابر و نابه‌سامانی کانال‌ها و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، از معضلات اساسی شهرهای شمالی کشور به‌خصوص شهر ماسال محسوب می‌شود. در این شهر حتی در سیلاب‌های جاری شده با دوره‌های بازگشت پایین، آب‌گرفتگی در قسمت‌های متعددی از شهر گزارش شده است و عدم ظرفیت این شبکه برای عبور سیلاب محرز است (شورای پژوهش استانداری گیلان، ۱۳۸۵). با توجه به این‌که تاکنون دراین منطقه مطالعات سیلاب شهری صورت نگرفته است، در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار MIKESWMM به بررسی وضعیت شبکه زهکشی شهری ماسال و ارائه راهکارهایی برای بهبود کارایی آن پرداخته شده است تا ضمن بررسی کفایت شبکه و مشخص شدن نقاط بحرانی سیستم زهکشی شهری، راهکارهای عملی برای بهبود شرایط موجود ارائه شود.

مواد و روش‌ها

شهر ماسال در مختصات جغرافیای E "۳۶/۸۰ ' ۷ ° ۴۹ و N "۳/۵۹ ' ۴۲ ° ۳۷، واقع است. این شهر در شرق شهرستان ماسال و در فاصله ۴۵ کیلومتری شهر رشت، مرکز استان گیلان واقع شده است. وجود دریای خزر، تأثیر عرض جغرافیایی را بر آب و هوای منطقه مورد مطالعه کم می‌کند و باعث می‌شود در طول سال رطوبت و بارش متناوبی وجود داشته باشد. بر اساس آمار بلند مدت، میزان بارندگی سالیانه منطقه ۹۵۰ میلیمتر است و طبقه بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه به روش آمبرژه و دمارتون به ترتیب مرطوب معتدل و مرطوب تا بسیار مرطوب ارزیابی شده است (شورای پژوهش استانداری گیلان، ۱۳۸۵). در این مطالعه برای شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی شهر از مدل کامپیوتری MIKESWMM استفاده شد که در ادامه به معرفی آن پرداخته می‌شود.

مدل MIKESWMM

این مدل توسط مؤسسه هیدرولیک دانمارک و از تلفیق دو مدل SWMM و MIKE11 تهیه شده است که برای تحلیل سیستم‌های سیلابرو و فاضلابرو کاربرد دارد. مدل مذکور حاوی سه بلوک رواناب (RUNOFF)، انتقال (TRANSPORT) و انتقال توسعه یافته (EXTRAN)

www.SID.ir

Archive of SID

است. تحلیل‌های هیدرولوژیکی در بلوک رواناب، تحلیل‌های هیدرولیکی در بلوک انتقال توسعه یافته و تحلیل‌های مربوط به آلودگی در بلوک انتقال انجام می‌شود. در این تحقیق از بلوک‌های رواناب و انتقال توسعه یافته استفاده شد و برای استخراج اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی از برنامه گرافیکی MIKEVIEW استفاده شد. قابلیت زیاد این برنامه در نمایش اطلاعات کمک شایانی برای استنباط و تشخیص ورودی‌ها، خروجی‌ها و به دست آوردن اطلاعات صحیح به کاربر می‌دهد. در این برنامه می‌توان اطلاعات هیدروگراف دبی، تراز آب، تراز سیل و مقادیر هد آب نسبت به زمان را مشاهده کرد و در زمان شبیه‌سازی، تغییرات هر پارامتر را دنبال کرد (راهنمای کاربر MIKESWMM، ۲۰۰۵).

تئوری روندیابی هیدرولوژیکی در مدل

در بررسی بیلان هیدرولوژی هر حوضه، سطح آن از مهمترین عوامل می‌باشد. سطح هر زیر حوضه به صورت یک مخزن غیرخطی عمل نموده و رواناب سطحی زمانی رخ می‌دهد که عمق آب در مخزن بیشتر از حداکثر ذخیره نگهداشت شود. معادله پیوستگی در هر زیر حوضه به صورت معادله ۱ است:

$$\frac{dv}{dt} = A\frac{dd}{dt} = Ai^* - Q \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، v حجم آب در زیرحوضه (متر مکعب)؛ d عمق آب (متر)؛ t زمان (ثانیه)؛ A سطح زیرحوضه (متر مربع)؛ i^* شدت بارش مازاد که برابر است با شدت بارندگی و برف منهای میزان نفوذ و تبخیر (متر در ثانیه) و Q جریان خروجی (متر مکعب در ثانیه) است. جریان خروجی با استفاده از معادله مانینگ به صورت معادله ۲ است:

$$Q = W.\frac{1}{n}(d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (۲)$$

که درآن، W عرض زیرحوضه (متر)؛ n ضریب زبری مانینگ؛ d عمق آب (متر)؛ d_p عمق ذخیره چالابی (متر) و S شیب زیرحوضه (متر بر متر) است. از ترکیب این دو معادله با هم یک معادله دیفرانسیل غیرخطی به‌وجود می‌آید که به معادله مخزن غیرخطی معروف است.

تئوری روندیابی هیدرولیکی در مدل

اساس معادلات دیفرانسیل برای سیستم‌های فاضلاب و آب‌های سطحی معادلات جریان غیردائمی متغیر تدریجی است و به معادلات سنت ونانت یا معادلات آب‌های کم‌عمق معروف است:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2v\frac{\partial A}{\partial t} - v^2\frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \qquad (۳)$$

رابطه بالا به‌عنوان معادله پایه در روش حل صریح است که در آن، Q دبی (متر مکعب در ثانیه)؛ v سرعت جریان (متر در ثانیه)؛ A مساحت مقطع عرضی جریان (متر مربع)؛ H ارتفاع هیدرولیکی (متر) و S_f شیب اصطکاکی (متر بر متر) است. شیب اصطکاکی به‌وسیله رابطه مانینگ قابل بیان است:

$$S_f = \frac{k}{gAR^{\frac{4}{3}}} Q|v| \qquad (۴)$$

که در آن K برابر gn^2 است، n ضریب زبری مانینگ؛ g شتاب ثقل برابر ۹/۸۱ بر حسب متر بر مجذور ثانیه و Rشعاع هیدرولیکی (متر) می‌باشد. علامت قدرمطلق در بالا بیانگر آن است که S_f کمیت برداری است و نشان می‌دهد که رفتار آن مخالف جهت جریان است(راهنمای کاربر MIKESWMM، ۲۰۰۵).

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

در این مطالعه، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در بلوک رواناب انجام گرفت. اطلاعات مورد نیاز در این بلوک گسترده است و به‌طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

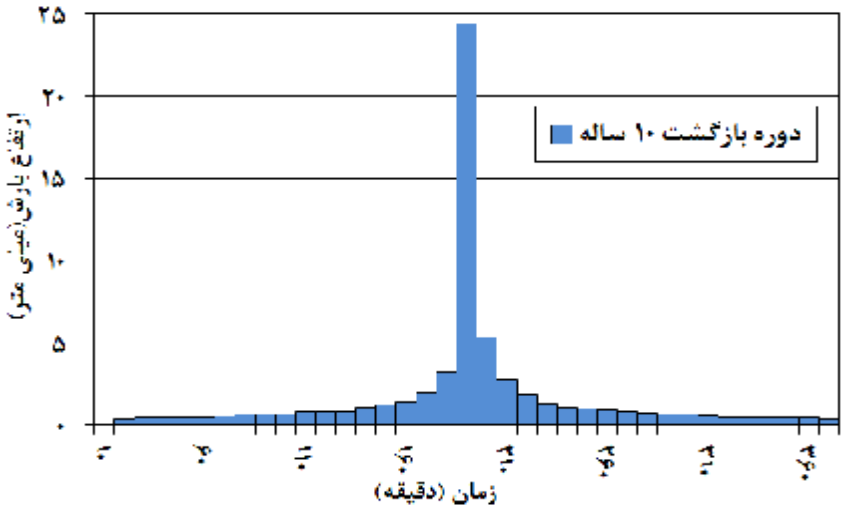
اطلاعات بارندگی

در این بخش اطلاعات مربوط به الگوی بارش و توزیع زمانی آن براساس داده‌های هواشناسی وارد می‌شود. برآورد میزان رواناب ناشی از بارندگی ضروری است بنابراین باید بارانی به میزان باران طرح انتخاب شود که برای تعیین آن، باید با استفاده از مدل بارندگی رواناب، اطلاعات بارندگی به رواناب تبدیل شود. دو روش مختلف به نام‌های مدلسازی پیوسته و مدلسازی منفرد سیلاب می‌توانند بدین منظور مورد استفاده قرار گیرند (اکان، ۱۳۸۰). در عمل به علت صرف زمان بیشتر و هزینه بالاتر روش اول، بیشتر از

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های باران منفرد برای طراحی رواناب طرح استفاده می‌شود. در این تحقیق برای تعیین باران طرح، از منحنی‌های شدت – مدت – فراوانی (IDF) استخراج شده بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک رشت استفاده شد (شورای پژوهش استانداری گیلان، ۱۳۸۵). داده‌های توزیع باران طرح بر اساس منحنی بی‌بعد SCSII به ازای دوره بازگشت ۱۰ ساله در مدل وارد گردید که هیستوگرام مربوط به آن در شکل ۱، نمایش داده شده است.



شکل ۱- هیستوگرام بارش شهر ماسال براساس منحنی بی‌بعد SCS تیپ II

مشخصات زیرحوضه‌ها

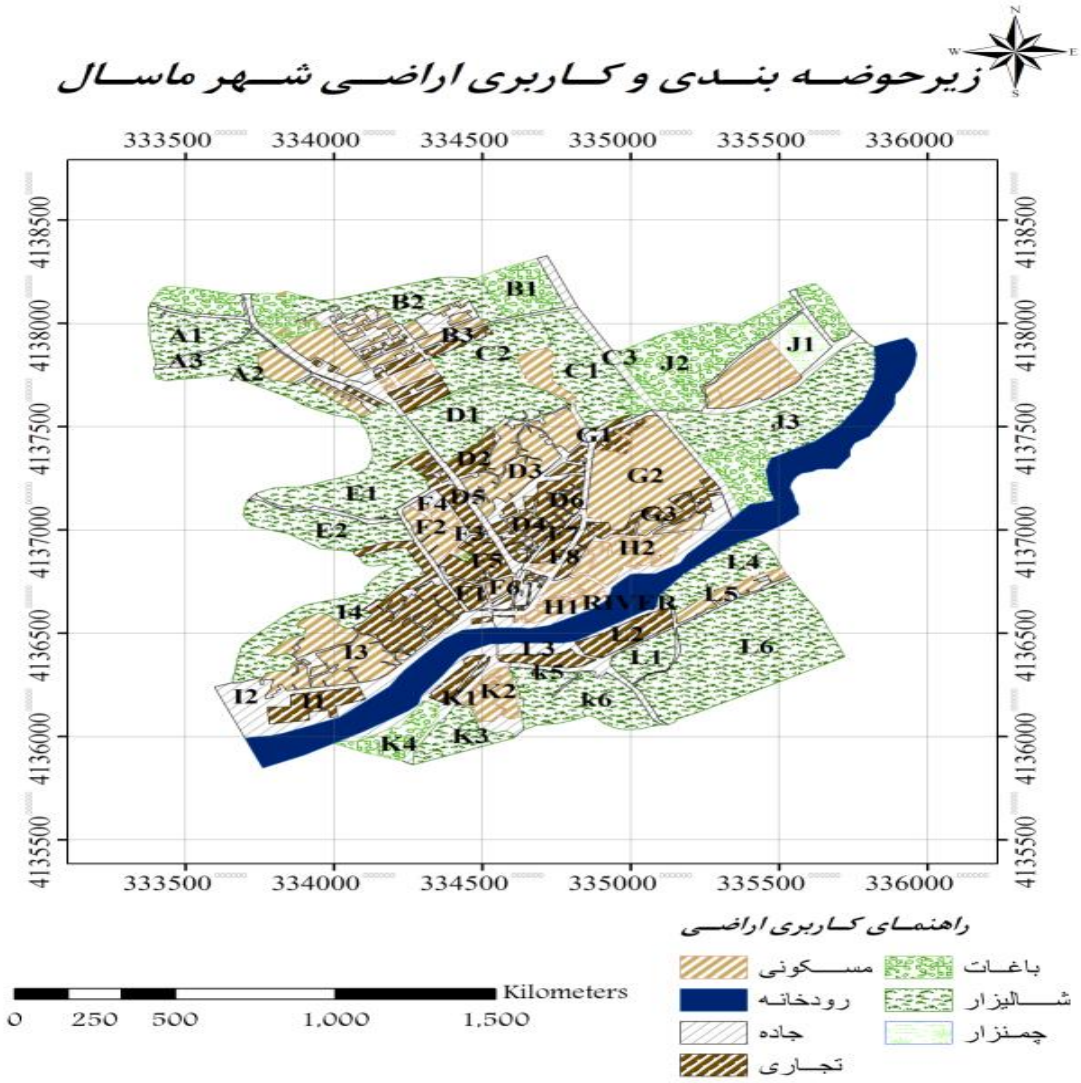
مشخصات زیرحوضه‌ها شامل مساحت، عرض، شیب، درصد نفوذناپذیری و پارامترهای نفوذ، نقاط خروجی از آن‌ها یا نقاط ورودی جریان به مسیرها همچنین شماره هایتوگراف‌های مربوطه در مدل وارد شد.

زیرحوضه‌بندی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ArcViewGIS3.3، بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰، نقشه طرح تفصیلی، نقشه رقومی ارتفاعی(DEM و TIN)، نقشه شیب، نقشه کاربری‌اراضی، اطلاعات تکمیلی حاصل از بازدیدهای میدانی و با در نظر گرفتن خروجی‌های تخلیه رواناب، انجام پذیرفت. شبیه‌سازی با وارد کردن اطلاعات هواشناسی و تعیین مرزهای حوضه منطقه مورد مطالعه، تقسیم آن به زیرحوضه‌های کوچکتر و محاسبه خصوصیات فیزیکی و تخمین پارامترهای آن انجام شد. شکل ۲، نقشه زیرحوضه‌بندی و کاربری اراضی شهر ماسال را نشان می‌دهد. به طورکلی منطقه مورد بررسی به ۵۰ زیرحوضه تقسیم شد.

برای تعیین ضریب زبری سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر از مقادیر توصیه شده توسط انجمن مهندسین عمران آمریکا (ASCE، ۱۹۷۰)، با توجه به جنس خاک و کاربری‌های مختلف اراضی استفاده شد. برای تعیین درصد نفوذپذیر و نفوذناپذیری هر زیرحوضه ابتدا نقشه کاربری اراضی به تفکیک ساختمان‌های مسکونی و تجاری، حیاط، استخر، پارک، باغ، باغچه، میدان ورزشی، اراضی بایر، سطوح روکش شده (خیابان، آسفالت)، در نرم‌افزار ArcViewGIS3.3 تعریف شد و ضریب رواناب هر قسمت بر اساس کاربری آن به توصیه انجمن مهندسین عمران آمریکا اختصاص یافت. در هر زیرحوضه، برای واحدهایی که دارای چند کاربری بودند، مساحت قسمت‌های مذکور توسط نرم‌افزار اندازه‌گیری شده و ضریب رواناب به‌صورت وزنی محاسبه شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نقشه زیرحوضه‌بندی و کاربری‌اراضی حوضه شهری ماسال

شبیه‌سازی هیدرولیکی

تحلیل‌های هیدرولیکی در بلوک انتقال توسعه یافته صورت گرفت. به‌طور خلاصه اطلاعات ورودی به بلوک مذکور برای شبیه‌سازی هیدرولیکی، شامل موارد زیر است.

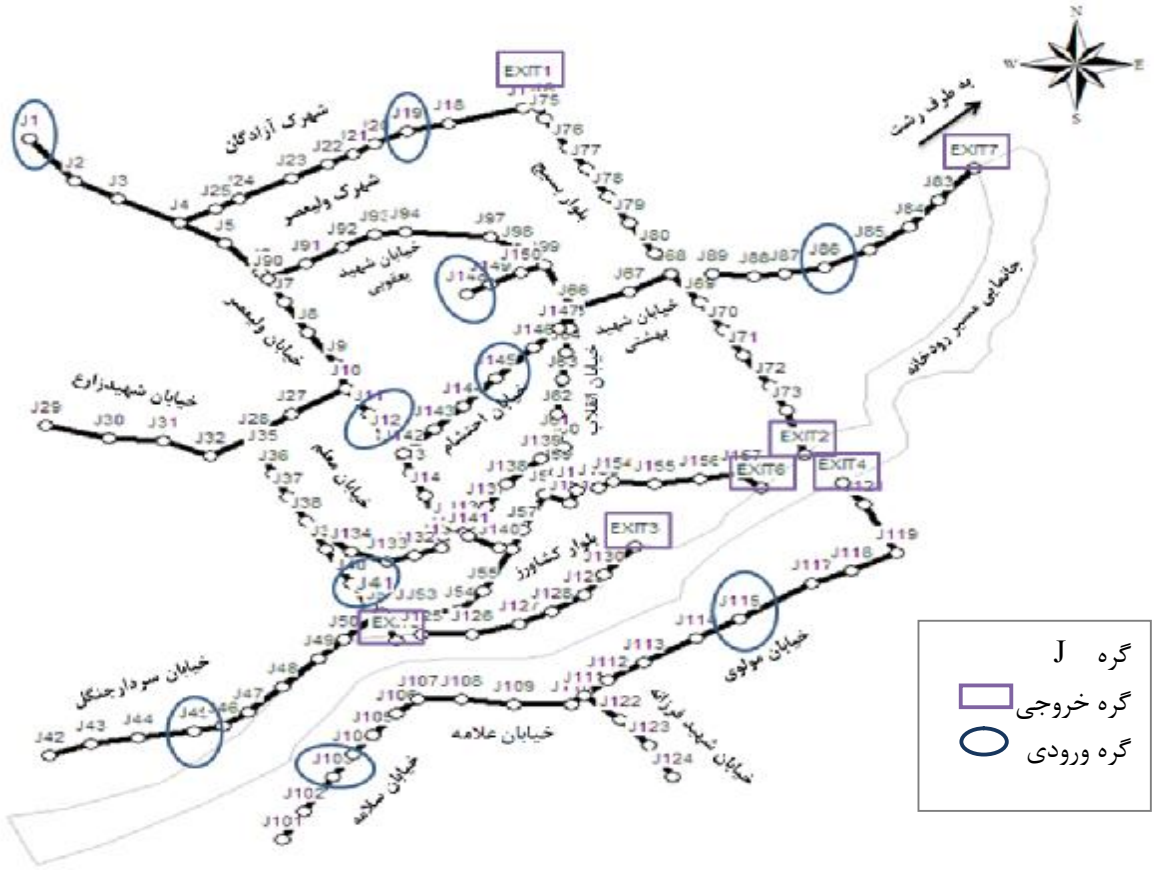
اطلاعات مربوط به گره‌ها، شامل نام گره، رقوم سطح زمین در محل گره، رقوم گره در کف مجرا و دبی جریان ورودی می‌باشد. همچنین، اطلاعات مربوط به مجاری آبرو شامل نام مسیرها و گره‌های بالادست و پایین‌دست، جریان پایه، سطح مقطع، عمق و عرض جریان، طول مجرا، رقوم گره‌های بالادست و پایین‌دست و ضریب زبری مانینگ است. از دیگر اطلاعات ورودی در این بلوک می‌توان به اطلاعات مربوط به شرایط مرزی و خروجی‌ها اشاره کرد. جهت شبیه‌سازی هیدرولیکی، از ابعاد موجود برای روندیابی سیل در مجاری آبروی موجود شهر استفاده شد. همچنین با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته، برای مناطقی از شهر که فاقد مجرای آبرو بودند مسیرهایی پیشنهاد و طراحی شد و سعی شد از سیستم مجزا برای عبور سیلاب طراحی در این شهر استفاده شود. در شکل ۳ پلان شبکه پیشنهادی جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر ماسال نمایش داده شده است که شامل ۱۴۶ مجرا (با حرف اختصاری C مخفف کلمه Conduit) و ۱۵۷ گره (با حرف اختصاری J مخفف کلمه Junction)، شماره‌گذاری

www.SID.ir

Archive of SID

شده است. در این مطالعه هفت خروجی هست که بخشی از رواناب‌های مجاری آبروی موجود در خیابان ولیعصر و رواناب‌های مجاری آبروی بلوار بسیج و شهرک آزادگان به نهر میله‌سرا تخلیه شده و مابقی رواناب‌های مجاری آبروی موجود در خیابان‌های واقع در ساحل راست و چپ رودخانه خالکائی، به‌داخل رودخانه تخلیه می‌شوند.

معمولاً دوره‌های بازگشت سیلاب‌های شهری بین ۲ تا ۲۵ سال تغییر می‌کند. دوره بازگشت طرح از ۵ تا ۱۰ سال، ۱۰ تا ۲۵ سال، ۲۵ تا ۵۰ سال، به‌ترتیب برای آبگذرها در جاده‌های با ترافیک کم، متوسط و زیاد استفاده می‌شود (اکان، ۱۳۸۰). در این تحقیق با شبیه-سازی اولیه براساس سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال، نقاط و مسیرهای بحرانی در شبکه شناسایی شدند. سپس با انجام سعی و خطا نسبت به اصلاح ابعاد مجاری آبرو در برخی از مسیرهای منتهی به گره‌های بحرانی اقدام شد و ابعاد تیپ جهت عبور سیلاب طرح پیشنهاد شد.



شکل ۳-پلان شبکه پیشنهادی جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر ماسال

آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت عبارت است از عملیاتی که طی آن میزان تأثیر پارامترهای مختلف ورودی بر روی خروجی مدل سنجیده می‌شود. در این مطالعه با تغییر برخی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها تأثیر آن بر دبی اوج زیرحوضه‌ها بررسی شد. برای آنالیز حساسیت در بلوک رواناب، پارامترهای مساحت، عرض جریان، درصد نفوذناپذیری حوضه، شیب و ضریب زبری سطوح حوضه، هر کدام به میزان ۲۰± درصد به طور مستقل از هم تغییر داده شدند. سپس خروجی مدل مربوط به اعمال هریک از این تغییرات را در برآورد دبی اوج رواناب تولید شده هر یک از زیرحوضه‌ها استخراج و با حالت اولیه

www.SID.ir

Archive of SID

(قبل از اعمال تغییرات) مقایسه شد. در مقایسات انجام گرفته از دو فاکتور D_{max}، قدرمطلق حداکثر اختلاف بین خروجی مدل در حالت قبل و بعد از تغییر مستقل هر پارامتر (برحسب درصد) و SI، شاخص حساسیت استفاده شد. ارتباط میان D_{max} و SI به‌صورت زیر است (فضل‌اولی و همکاران، ۱۳۸۵).

If $D_{max}= 0$ Then SI=0
If $0 < D_{max} \le 10$ Then SI=1
If $10 < D_{max} \le 50$ Then SI=2
If $D_{max} > 50$ Then SI=3

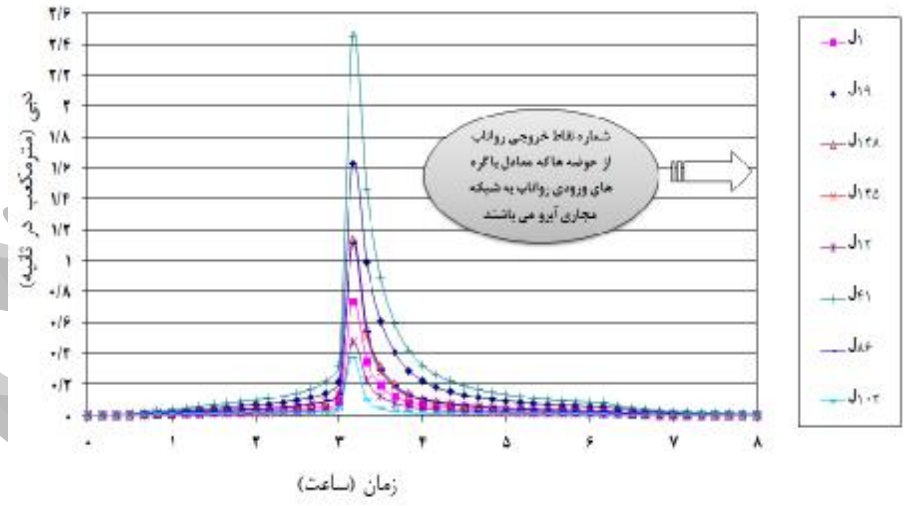
با این آنالیز می‌توان دریافت که مدل نسبت به کدام یک از پارامترهای ورودی حساسیت بیشتری دارد تا در زمان اندازه‌گیری و وارد کردن آن‌ها به مدل دقت‌های لازم به عمل آید.

نتایج و بحث

پس از اجرای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، هیدروگراف خروجی از هریک از این زیرحوضه‌ها به ازای دوره بازگشت ۱۰ ساله استخراج شد. به‌طور نمونه، خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی به ازای باران طراحی به مقدار ۶۱/۳ میلیمتر، در جدول ۱ آورده شده و در شکل ۴ هیدروگراف خروجی از این زیرحوضه‌ها ارائه شده است. با توجه به نتایج بیشترین دبی رواناب در گره ورودی $J_{۴۱}$، برابر ۲/۴۵ مترمکعب در ثانیه است که مربوط به زیرحوضه $I_۴$، با مساحتی بالغ بر۱۹هکتار و درصد نفوذناپذیری۴۹درصد است. کمترین دبی اوج رواناب هم در گره ورودی $J_{۱۰۳}$، برابر ۰/۳۷ مترمکعب در ثانیه است که مربوط به زیرحوضه $k_۴$، با مساحتی بالغ بر۳ هکتار و درصد نفوذناپذیری۲۵درصد است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به‌ازای باران طراحی با دوره بازگشت ۱۰سال

زیرحوضه	نقطه ورودی	مساحت	درصد نفوذ ناپذیری	دبی اوج
		(hec)	(%)	(m^3/s)
$A_۱$	$J_۱$	۷/۳۲	۳۲	۰/۷۴
$B_۲$	$J_{۱۹}$	۱۲/۵۴	۵۲	۱/۶۳
$D_۱$	$J_{۱۴۸}$	۹/۸۲	۳۸	۱/۱۴
$D_۶$	$J_{۱۴۵}$	۳/۹۹	۸۸	۱/۱۱
$F_۴$	$J_{۱۲}$	۲/۱۲	۷۱	۰/۴۸
$I_۴$	$J_{۴۱}$	۱۹/۶۴	۴۹	۲/۴۵
$J_۱$	$J_{۸۶}$	۹/۴۵	۳۸	۱/۱۱
$K_۴$	$J_{۱۰۳}$	۳/۲۰	۲۵	۰/۳۷



شکل ۴- هیدروگراف‌های خروجی از هر زیرحوضه به ازای دوره بازگشت۱۰سال

نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی شامل نتایج مربوط به گره‌ها و مجاری آبرو است. موارد حائز اهمیت در نتایج مربوط به گره‌ها شامل مدت تداوم اضافه‌بار و شرایط سیلابی در محل گره است. در جداول ۲ الی ۵ نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مربوط به گره‌ها و مجاری آبرو بر اساس وضعیت موجود و پس از اصلاح آن، آورده شده است. با توجه به جدول ۲، در بیشتر گره‌ها که آن‌ها را گره‌های بحرانی می‌نامند، حداکثر

www.SID.ir

Archive of SID

رقوم سطح آب برابر یا بزرگتر از رقوم بالای مجرا در محل گره است که بیانگر وجود اضافه‌بار و شرایط سیلابی در محل گره است. در اکثر گره‌ها این شرایط برای مدت طولانی مشاهده می‌شود به‌طوری که در برخی گره‌ها شرایط سیلابی بالغ بر۶ ساعت هم به طول می‌انجامد. این بیانگر این واقعیت است که مجاری موجود توانایی عبور سیلاب را ندارند. برای اصلاح وضعیت، ابعاد مجاری آبرو در پایین دست گره‌های مذکور به روش سعی و خطا تصحیح شد. چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود میزان تداوم شرایط سیلابی و اضافه بار به طور کامل حذف شده و یا به حداقل ممکن رسید. از نظر کارشناسی بیشترین زمان رویداد شرایط سیلابی پس از اصلاح، کمتر از پانزده دقیقه است. جداول ۳ و ۵ نمونه‌ای از نتایج مربوط به مجاری آبرو را نشان می‌دهند. در این میان نسبت دبی طراحی به حداکثر دبی عبوری از مجرا حائز اهمیت است. با توجه به جدول ۳، این نسبت در وضعیت موجود بزرگتر از عدد یک است که بیانگر نامناسب بودن ابعاد آن مجرا است. مثلاً این نسبت در مسیرهای $J_9 - J_8$ و $J_8 - J_7$ برای وضعیت موجود (جدول ۳)، برابر۱/۲۳و ۱/۱۹ است که پس از اصلاح (جدول ۵)، به مقدار۰/۹۴ و ۰/۹۷کاهش یافت. به طورکلی برای اصلاح سعی شد تا با به‌دست آمدن نسبت مذکور به مقدار کمتر از یک، از ایجاد شرایط سیلابی جلوگیری شود. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود این نسبت در بیشتر مجاری از عدد یک کوچکتر است و با توجه ملاحظات اجرایی این نسبت در دو مجرا به‌گونه‌ای است که به‌صورت پر عمل می‌کند.

جدول ۲- نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مربوط به گره‌ها براساس وضعیت موجود

شماره گره	رقوم بالای مجرا در محل گره (m)	رقوم کف مجرا در محل گره (m)	حداکثر رقوم سطح آب در محل گره (m)	مدت تداوم اضافه بار در محل گره (min)	مدت تداوم شرایط سیلابی در محل گره (min)
J_7	۴۷/۱	۴۷/۰	۴۷/۱	۳۵۰/۵	۳۵۰/۵
J_8	۴۷/۴	۴۷/۳	۴۷/۴	۳۶۵/۹	۳۶۵/۹
J_9	۴۷/۸	۴۷/۷	۴۷/۸	۰/۰	۳۶۲/۸
J_{10}	۴۸/۲	۴۸/۱	۴۸/۲	۰/۰	۳۴۴/۴
J_{11}	۴۸/۳	۴۸/۲	۴۸/۳	۰/۰	۳۲۳/۱
J_{12}	۴۸/۵	۴۸/۴	۴۸/۵	۱۹۱/۰	۱۹۰/۹
J_{90}	۴۶/۷	۴۶/۶	۴۶/۷	۰/۰	۲۹۹/۶

جدول ۳- نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مربوط به مجاری آبرو براساس وضعیت موجود

نام مسیر	گره بالادست مجرا	گره پایین دست مجرا	عمق مجرا (m)	عرض مجرا (m)	حداکثر دبی قابل عبور از مجرا با مقطع پر (m^3/s)	دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال (m^3/s)	سرعت به ازای دبی ۱۰ ساله (m/s)	نسبت دبی ده ساله به دبی حداکثر -
۱	J_{12}	J_{11}	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۲۰۳	۰/۵۰	۱/۱۷
۲	J_{11}	J_{10}	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۵	۰/۳۸	۱/۱۵
۳	J_{10}	J_9	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۲۶۳	۰/۰۳۱۶	۰/۷۸	۱/۲۰
۴	J_9	J_8	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷۱	۰/۶۷	۱/۲۳
۵	J_8	J_7	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۱۹۳	۰/۰۲۳	۰/۵۷	۱/۱۹
۶	J_7	J_{90}	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۶۴	۰/۶۶	۱/۲۴
۷	J_{90}	J_{91}	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۴۲۳	۰/۰۴۸	۱/۲۴	۱/۱۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مربوط به گره‌ها براساس گزینه پیشنهادی

شماره گره	رقوم بالای مجرا در محل گره	رقوم کف مجرا در محل گره	حداکثر رقوم سطح آب در محل گره	مدت تداوم اضافه بار در محل گره	مدت تداوم شرایط سیلابی در محل گره
	(m)	(m)	(m)	(min)	(min)
$J_{۷}$	۴۷/۰	۴۶/۰	۴۷/۱	۶/۸	۰/۸
$J_{۸}$	۴۷/۳	۴۶/۳	۴۷/۴	۳/۸	۰/۲
$J_{۹}$	۴۷/۷	۴۶/۷	۴۷/۵	۰	۰
$J_{۱۰}$	۴۸/۲	۴۷/۴	۴۸/۱	۰	۰
$J_{۱۱}$	۴۸/۲	۴۷/۵	۴۸/۱	۰	۰
$J_{۱۲}$	۴۸/۴	۴۷/۸	۴۸/۲	۰	۰
$J_{۹۰}$	۴۶/۶	۴۵/۶	۴۶/۳	۰	۰

جدول ۵- خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مربوط به مسیرها براساس گزینه پیشنهادی

نام مسیر	گره بالادست مجرا	گره پایین دست مجرا	عمق مجرا	عرض مجرا	حداکثر دبی قابل عبور از مجرا با مقطع پر	دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال	سرعت به ازای دبی ۱۰ ساله	نسبت دبی ده ساله به دبی حداکثر
			(m)	(m)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m/s)	-
۱	$J_{۱۲}$	$J_{۱۱}$	۰/۶	۰/۸	۰/۵۹۵	۰/۴۶	۱/۱۹	۰/۷۸
۲	$J_{۱۱}$	$J_{۱۰}$	۰/۷	۱/۰	۰/۵۹۷	۰/۴۶	۰/۷۷	۰/۷۷
۳	$J_{۱۰}$	$J_{۹}$	۰/۸	۱/۰	۱/۹۱	۱/۹۱	۲/۷۳	۱/۰۰
۴	$J_{۹}$	$J_{۸}$	۱/۰	۱/۲	۲/۰۸	۱/۹۶	۱/۹۱	۰/۹۴
۵	$J_{۸}$	$J_{۷}$	۱/۰	۱/۲	۱/۸۲	۱/۷۶	۱/۴۷	۰/۹۷
۶	$J_{۷}$	$J_{۹۰}$	۱/۰	۱/۲	۲/۰۲	۲/۴۶	۲/۴۸	۱/۲۲
۷	$J_{۹۰}$	$J_{۹۱}$	۱/۰	۱/۲	۴/۰۰	۲/۴۴	۳/۳۸	۰/۶۱

براساس نتایج به‌دست آمده و ملاحظات اجرایی، ابعاد تیپ برای این شهر به صورت ۱۲ تیپ کانال که شامل کانیو یک‌طرفه مثلثی، کانال مستطیلی و سیلابرو مدفون از جنس لوله‌های فایبرگلاس فاضلابی (G.R.P)، پیشنهاد شد و در جدول ۶ نشان داده شده است. بیشترین تیپ کانال پیشنهادی به‌صورت مقاطع مستطیلی سرپوشیده در مسیری به طول تقریبی ۱۱ کیلومتر است که کوچکترین مقطع با حداکثر عمق ۵۰ سانتیمتر و عرض ۹۰ سانتیمتر می‌باشد. بزرگترین مقطع مستطیلی نیز دارای حداکثر عمق ۱۳۰ سانتیمتر و عرض ۱۵۰ سانتیمتر است. همچنین در مسیری بالغ بر ۹۰۰ متر از شبکه اصلی به‌علت وجود شیب منفی تا خروجی مورد نظر از سیلابروی مدفون استفاده شد که در حدود ۳۷۰ متر از مسیر، سیلابروی مدفون به قطر ۱۳۰۰ میلیمتر و برای مابقی مسیر، سیلابروی مدفون به قطر ۱۵۰۰ میلیمتر پیشنهاد شد.

جدول ۷ خلاصه‌ای از آنالیز حساسیت مدل در بلوک رواناب را در ۶ زیرحوضه نشان می‌دهد. با توجه به جدول، عوامل مساحت و درصد نفوذناپذیری با شاخص حساسیت۲ برای همه زیرحوضه‌ها و عواملی نظیر عرض جریان، زبری سطوح و شیب از لحاظ میزان حساسیت بر روی تغییرات دبی اوج رواناب در اولویت‌های بعدی بودند

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- تیپ بندی مجاری آبرو براساس سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال

شکل مجرا	حداکثرعمق (cm)	عرض بالا (cm)	تیپ مقطع	شکل مجرا	حداکثرعمق (cm)	عرض بالا (cm)	تیپ مقطع
کانیو یکطرفه مثلثی	۲۰	۵۰	C1	کانال مستطیلی	۹۰	۱۰۰	R6
کانال مستطیلی	۵۰	۹۰	R2	کانال مستطیلی	۱۰۰	۱۲۰	R7
کانال مستطیلی	۶۰	۹۰	R3	کانال مستطیلی	۱۱۰	۱۳۰	R8
کانال مستطیلی	۷۰	۱۰۰	R4	کانال مستطیلی	۱۲۰	۱۳۰	R9
کانال مستطیلی	۸۰	۱۰۰	R5	کانال مستطیلی	۱۳۰	۱۵۰	R10
سیلابرو مدفون به قطر ۱۳۰۰ میلیمتر			CP1	سیلابرو مدفون به قطر ۱۵۰۰ میلیمتر			CP2

جدول ۷- خلاصه‌ای از آنالیز حساسیت مدل در بلوک رواناب

زیرحوضه	نقطه ورودی	عرض (± ۲۰%)		درصد نفوذناپذیری (± ۲۰%)		شیب (± ۲۰%)		ضریب زبری (± ۲۰%)		مساحت (± ۲۰%)	
		D_{max} %	SI	D_{max} %	SI	D_{max} %	SI	D_{max} %	SI	D_{max} %	SI
A_1	J_1	۹	۱	۱۳	۲	۴	۱	۸	۱	۱۳	۲
A_2	J_4	۸	۱	۱۴	۲	۴	۱	۸	۱	۱۴	۲
A_3	J_6	۱	۱	۱۶	۲	۳	۱	۱	۱	۱۹	۲
B_1	J_{16}	۳	۱	۱۷	۲	۳	۱	۳	۱	۱۷	۲
B_2	J_{17}	۹	۱	۱۳	۲	۳	۱	۹	۱	۱۳	۲
B_3	J_{19}	۱۱	۲	۱۱	۲	۴	۱	۱۱	۲	۱۲	۲
متوسط کل زیرحوضه‌ها		۷	۱	۱۴	۲	۳	۱	۷	۱	۱۵	۲

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی شبکه زهکشی آب‌های سطحی شهر، نشان داد که شبکه موجود کفایت لازم برای عبور سیلاب طراحی را نداشته و این امر موجب ایجاد شرایط سیلابی در محل گره‌های منتهی به مسیرهای بحرانی می‌شود. این وضعیت در برخی از گره‌ها به حدی طولانی است که موجب بروز مشکلات جدی در خصوص تردد و آب-گرفتگی معابر می‌شود. بنابراین برای اصلاح وضعیت، ابعاد مجاری آبرو در پایین دست گره‌های مذکور با سعی و خطا تصحیح شد تا این‌که در نهایت ابعاد مناسب در هنگام وقوع دبی سیلاب با در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی و براساس بهترین شرایط به‌دست آمد و براساس آن ابعاد مقاطع تیپ جهت اجرا پیشنهاد شد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی لازم است شبکه زهکشی آب‌های سطحی شهر اصلاح شود تا مشکل آبگرفتگی معابر در سطح این شهر در روزهای بارانی برطرف شود. براساس نتایج آنالیز حساسیت، با تقسیم نمودن حوضه به تعدادی زیرحوضه به‌طوری که هر زیرحوضه نسبتاً همگن باشد می‌توان به نتایج مطلوب‌تری در تعیین ابعاد شبکه در شهر دست یافت. با توجه به کاربرد نقشه‌های شهری با مقیاس‌های متفاوت، استفاده از نقشه کاداستر ۱:۱۰۰۰ منطقه و استخراج خصوصیات فیزیوگرافی شهر به کمک نرم‌افزار ArcViewGIS3.3، موجب افزایش دقت در انجام این تحقیق گردید. همچنین با استفاده از روش‌های کاهش رواناب سطحی در شهرها می‌توان با مدیریت رواناب، علاوه بر کاهش خطرات سیل، ظرفیت سیستم زهکشی مورد نیاز را نیز کاهش داد که این موضوع از لحاظ اقتصادی بسیار زیاد است. پیشنهاد می‌شود تا در نقاط مناسبی از حوضه‌های شهری، ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان تأسیس شود و از این

www.SID.ir

Archive of SID

طریق اطلاعات لازم جهت واسنجی و آزمون صحت نتایج مدل‌ها فراهم گردد. با داشتن این‌گونه اطلاعات می‌توان نسبت به طراحی مدل‌های خاص برای شهرهای کشور اقدام کرد که هزینه آن نسبت به هزینه هنگفت ساخت و نگهداری شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهرها ناچیز است.

منابع

۱- اکان ع. ۱۳۸۰. هیدرولوژی رگبار در حوضه‌های شهری. انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۳۱۳ ص.

۲- تاج‌بخش م. و خداشناس س. ر. ۱۳۸۷. بازنگری سیستم جمع‌آوری رواناب شهری توسط شبیه-سازی(مطالعه موردی حوضه اقبال شرقی مشهد). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۱۰ص.

۳- شورای پژوهش استانداری گیلان. ۱۳۸۵. گزارش نهایی مطالعات جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی شهر ماسال. جلد اول. مطالعات پایه. ۱۳۲ص.

۴- فضل اولی ر. شریفی ف. و بهنیا ع. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی دشت موسویان (استان ایلام). مجله منابع طبیعی ایران. ۵۹(۱):۵۷-۷۵.

۵- ملک محمدی ا. و لطیفی س. ح. ۱۳۸۹. پیش‌بینی نقاط سیل‌خیز در شبکه زهکشی رواناب‌های سطحی و راهکارهای رفع مشکل، مطالعه موردی شهرستان نکاء. اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب شهری. دانشگاه تربیت مدرس. ۸ص.

۶- یاسایی ضمیر م. ۱۳۸۱. برنامه طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی تحت محیط صفحه گسترده. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گرایش سازه هیدرولیکی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان. ۸۰ ص.

7- American Society of Civil Engineers. 1970. Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers. Manuals and Reports on Engineering Practice. No. 37. Newyork, NY.

8- Barco J. Wong K.M. and Stenstorm M.K. 2008. Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 134(4):466-474.

9- Danish Hydraulic Institute. 2005. MIKE SWMM User Guide. DHI Water and Environment. Denmark. 79 p.

10- Li W. Chen Q. and Mao j. 2009. Development of 1D and 2D Coupled Model to Simulate Urban Inundation: An Application to Beijing Olympic Village. Chinese Science Bullentin. 54(9):1613-1621.

www.SID.ir