خلاصه انگلیسی این مقاله با عنوان:
Prediction and estimation of Qeshm urban runoff and flood with SWMM hydrological model.
در همین شماره به چاپ رسیده است.

اصالت سنجی

شهرسازی ایران، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱۰، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۲۱۹– ۲۳۵
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۴ ، تاریخ بررسی اولیه: ۱۴۰۲/۵/۲۵ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱ ، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۷/۱

پیش‌بینی و برآورد رواناب و سیلاب شهری قشم با مدل هیدرولوژیکی SWMM

مریم بایرامی* دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ایران.
ابوالفضل منصوری اطمینان دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده: ***شناخت رفتار هیدرولیکی سیلاب‌های شهری در ارزیابی و بهسازی سیستم جمع‌آوری رواناب‌ها در شهر حائز اهمیت است. در این پژوهش برای دستیابی به این رهیافت مدیریتی در شهر قشم، رفتار هیدرولیکی سیلاب در مجاری زهکشی با مدل SWMM شبیه‌سازی‌شده و برای صحت‌سنجی مدل از سه واقعه‌ی بارش متناظر استفاده گردید. نتایج حاصل از واسنجی مدل با مقادیر مشاهداتی در مؤلفه‌های دبی، عمق و سرعت رواناب با معیارهای NS و RMSE بیانگر انطباق مناسب آن‌ها و توانایی مدل در شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب است. خروجی مدل نشان داد که در واقعه‌ی بارش ۷۰ میلی‌متری، ۴۷/۸ میلی‌متر آن به رواناب تبدیل شد و موجب ایجاد ۳۵۵ میلیون لیتر آب در شهر قشم شده که منهول‌ها و مجاری زهکشی در زیر حوزه‌های مسکونی و متراکم و با شیب معکوس و یا بسیار کم که بستر زمین هموار بوده و در بخش شرقی شهر قشم در نزدیکی ساحل قرار دارند، ظرفیت کافی برای انتقال رواناب را ندارند که این امر، موجب سیل گرفتگی زیر حوزه‌های شهری شد. عمق آب از سطح کانال‌ها و منهول‌ها در محلات چابهار و بازار قدیم بالاآمده و در سطح محله پخش می‌شود. این محلات آبگیر بوده و آب با شدت ۹ تا ۱۰ متر در ثانیه وارد محله شده و ناگهان با کاهش شیب بستر، آب راکد می‌شود. به‌طورکلی، بیشترین حجم سیلاب محله‌های بافت قدیمی شهر قشم در نواحی شرقی در محله‌های بازار قدیم و چابهار اتفاق افتاده است که در آن بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیون لیتر آب از کانال خارج‌شده و وارد محله می‌شود؛ بنابراین، نتایج این مدل نشان می‌دهد که سیستم دفع آب‌های سطحی شهر قشم به‌ویژه در محلات شرقی و نزدیک به ساحل نیاز به بهسازی و طراحی مناسب برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب را دارد.***

واژگان کلیدی: رواناب‌ها، سیلاب شهری، مدل هیدرولوژیکی SWMM، شهر قشم.

* مسئول مکاتبات: Maryam.bayrami@ut.ac.ir.

۱- مقدمه

شهرسازی به جایگزین شدن سطوح نفوذپذیر بایر و دارای پوشش گیاهی با سطوح نفوذناپذیر و ساختمان‌ها منجر می‌شود که این مسئله، افزایش تولید رواناب و حجم رواناب را در پی دارد (Schilling et al, 2014). در نواحی شهری بخش عدیده‌ای از زمین به‌وسیله‌ی مواد نفوذناپذیر پوشیده شده است که مشخصه‌های این مواد کاهش نفوذپذیری و شکل گرفتن رواناب سطحی است که منجر به ایجاد سیل می‌شود. البته بایستی اذعان داشت که پیچیدگی محیط‌های شهری و زیرساخت‌های مربوط به زهکشی تاثیر فراوانی بر تشکیل رواناب سطحی دارند (Tang et al, 2005). به

دلیل آثار مخرب ناشی از سیلاب بر حوضه‌های شهری، پژوهشگران و سازمان‌های مربوط به آن ازجمله شهرداری‌ها، به چگونگی انتقال، مدیریت و تخلیه‌ی رواناب‌های ایجادشده در سطح شهر توجه زیادی کرده‌اند. واکاوی طرح سیلاب شهری و یا دفع آب‌های سطحی که به‌صورت پراکنده و محدود در سطح کشور مطالعه و اجراشده‌اند، نشان می‌دهد که راه‌حل مشخص و مطمئنی برای اکثر مناطق سیل‌گیر وجود ندارد، اما آب‌های سطحی در شهر و یا پدیده سیلاب شهری به‌رغم همه‌ی پیچیدگی‌هایش قابل‌بررسی و مطالعه است و می‌توان برای مهار و کاهش خسارت‌های ناشی از آن و حتی بهره‌برداری اقتصادی از سیل، راه‌حل‌های مناسبی جست‌وجو کرد (Garner et al, 2019).

از سوی دیگر، پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارش در نواحی خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد سیلاب‌های ویرانگر، موجب آب‌گرفتگی معابر شهری و همچنین هدر رفت آب‌های سطحی می‌شود. بدین ترتیب، دفع آب‌های سطحی و یا حتی استفاده از رواناب شهری می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفتن آب و تبدیل تهدید به فرصت باشد. همچنین، تعیین عرصه‌های مستعد تولید سیل و رواناب و مناطق در معرض آب‌گرفتگی، یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در موفقیت طرح‌های سیل‌خیزی است. از این منظر، سیستم‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی از اجزای مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری محسوب می‌شوند و هرگونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع بشری مشکل‌ساز باشد. سیل گرفتگی شهرها و زیان‌ها و خسارت‌های کالبدی ساختمان‌ها، معابر عمومی، صرف هزینه‌های اضطراری و خسارت بر بهداشت و تندرستی نمونه‌هایی از این مشکلات هستند (Elliott et al, 2020).

علاوه بر این، رشد روزافزون جمعیت توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع نیز این مشکلات را تشدید می‌کنند، طوری که تأثیراتی نامطلوبی بر هیدرولوژی حوضه آبخیزدارند و منجر به تشدید سیلاب‌ها و افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب جریان پایه می‌شوند. ازاین‌رو، کاهش پیامدهای زیان‌بار یادشده با طراحی صحیح و تأمین ظرفیت کافی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی قابل تحقق است که معمولاً به شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌های ریاضی نیاز خواهد داشت. طوری که با تولید رواناب، رسوبات و برخی زباله‌های شهری و مواد آلاینده‌ای همچون روغن، گریس، مواد سمی، مواد بیماری‌زا و دیگر آلوده‌کننده‌ها، به درون شبکه زهکشی شهری راه می‌یابند و در محل‌های تجمع، سبب ایجاد معضلات محیط‌زیستی می‌شوند. ضمن اینکه پس از وقوع بارندگی‌ها، انباشت نامحسوس آب در چاله‌های سطح آسفالت و نفوذ آن‌ها به درون درزها و ترک‌های آسفالت، موجب تخریب سطوح نفوذناپذیر می‌شود (Mohammed et al, 2021).

بنابراین، به‌منظور رفع مشکلات ناشی از جاری شدن سیلاب در مناطقی از شهر که ریسک سیل زیاد است، باید با دقت کافی مقدار حجم یا دبی سیلاب‌ها، عمق سیلاب و مدت‌زمان گسترش سیلاب با استفاده از روش‌ها و مدل‌های متعارف تعیین شود. ازاین‌جهت، به‌کارگیری روش‌های صحیح در مدیریت آبخیزهای شهری، امری انکارناپذیر و ضروری است. ازاین‌رو مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای اجرای این امر مهم به برآورد میزان رواناب با درجه اطمینان زیادی نیاز دارند. رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری نیز با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی قابل شبیه‌سازی است که مدل SWMM کاربرد فراوانی در این زمینه دارد. در حقیقت، در مدیریت دفع آب‌های سطحی و بررسی رواناب‌های شهری و شناخت رفتار هیدرولیکی سیلاب از مدل SWMM استفاده می‌شود که طی سال‌های اخیر کاربرد فراوانی در شبیه‌سازی سیلاب شهری و برآورد حجم و دبی رواناب در مجاری زهکشی شهری دارد. این

مدل رایانه‌ای با استفاده از اطلاعات مکانی زیر حوزه‌های شهری، داده‌های هواشناسی و اقلیمی، توپوگرافی و شیب زیر حوزه‌های شهری، اطلاعات مربوط به مجاری زهکشی، معادلات نفوذ و روندیابی جریان، میزان دبی خروجی از هر زیر حوزه و حجم سیلاب شهری را مدل‌سازی می‌کند (Jiang et al, 2015). پژوهشگران ابتدا با ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌های رواناب شهری در این مدل، به خروجی آن اعتماد کرده و در طراحی، بهبود مجاری زهکشی و ظرفیت کانال‌های شهری از آن استفاده می‌کنند (Heydarzadeh et al, 2017; Rashidpour et al, 2017; Zeng et al, 2016; Badieizadeh et al, 2015).

شهر قشم در نقطه‌ی انتهایی بخش شرقی جزیره قشم قرارگرفته است که بزرگ‌ترین سکونتگاه انسانی-شهری جزیره قشم می‌باشد (Akbarpour et al, 2020). بخشی از محلات این شهر به‌ویژه نواحی شرقی که به سمت ساحل نیز هستند، به علت شیب توپوگرافیکی بستر زمین و همچنین نحوه‌ی ساخت‌وسازهای انسانی، آبگیر بوده و پس از وقوع بارش‌های سیلابی که عمدتاً در نیمه‌ی سرد سال اتفاق می‌افتد، رواناب ایجادشده از سطح محله خارج نمی‌شود و موجب تجمع آب‌های سطحی و ایجاد یک منبع آلودگی می‌شود. به‌منظور اجرای عملیات عمرانی و سازه‌ای برای خروج آب از محله، ابتدا بایستی حجم و دبی رواناب در سطح محله پیش‌بینی شود. سپس بر مبنای مشخصات هیدرولوژیکی محله، توپولوژی سطحی محله، شیب بستر و سطح خیابان‌ها، جهت شیب محله و دیگر مشخصات هیدرولوژیکی- فیزیولوژیکی و کاربری اراضی محله، راهکارهایی مبتنی بر دفع آب‌های سطحی از محله صورت می‌گیرد؛ بنابراین، در این پژوهش، از مدل هیدرولوژیکی SWMM برای مدل‌سازی، پیش‌بینی و دفع آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش‌های سیلابی استفاده‌شده است.

جزیره قشم در آب‌های خلیج‌فارس دارای اقلیم جنب‌حاره‌ای با رطوبت بالا بوده که بارش‌های آن فصلی به‌ویژه در زمستان و در مواقعی بارش‌های موسمی تابستانه است که اغلب رگباری بوده و باعث به راه افتادن سیلاب می‌شود. اگرچه بارش‌های رگباری و سازندهای سُست زمین‌شناسی موجب وقوع سیلاب در قشم می‌شود، اما دخالت بی‌رویه‌ی انسان و دخل‌وتصرف آن در اراضی ساحلی و گسترش شهرسازی‌ها، تغییراتی را در مورفولوژی مسیل‌های آب‌رو به وجود آورده و موجب ورود حجم عظیمی از سیلاب به داخل شهر قشم می‌شود. برای مقابله با آب‌گرفتگی محله‌های شهر قشم، راهکارهای مدیریتی، ساختمانی و آبخیزداری می‌بایست پس از شناخت رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری اجرا شود. پژوهشگران و مدیران برنامه‌ریزی محیط‌زیست در کشورهای پیشرفته ابتدا با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای و تکنیک‌های تصمیم‌گیری اقدام به شناخت و ارزیابی مناطق سیل‌خیز نموده و با پهنه‌بندی محله‌ها، نتایج را در اختیار برنامه‌ریزان قرار داده تا در ارتباط با ارائه‌ی راهکارهای مدیریت بحران در مقابله با دفع آب‌های سطحی محله و نقاط مهم تصمیم‌گیری نمایند.

نحوه حرکت آب‌های سطحی و مسیل‌ها در شهر تابعی از وضعیت شیب و جهت اصلی شیب اراضی و غرب به شرق، مرکز به شمال و مرکز به جنوب به سمت دریا می‌باشد. در مناطق ساحلی کم ارتفاع به علت اختلاف رقوم ارتفاعی ناچیز و در بعضی از موارد منفی سطح زمین نسبت به دریا دفع آب‌های سطحی با مشکل مواجه می‌شود. این مشکل در سواحل دریاهای باز که دارای جزو مد هستند مضاعف شده و رقوم ارتفاعی آب دریا هنگام مد مزاحمت‌های قابل‌توجهی را در دفع آب‌های سطح ایجاد می‌نماید. جهت اصلی دفع آب‌های سطحی از سمت ارتفاعات به دشت سمت‌وسو می‌یابد و نهایتاً در جهت شیب عمومی به سمت دریا جریان پیدا می‌کند. نحوه دفع آب‌های سطحی شهر قشم و معابر آن در تبعیت از شیب عمومی زمین قرار دارد. ازجمله مناطقی که در سطح شهر با مشکل دفع آب‌های سطحی

مواجه‌اند می‌توان به محله چابهار و بازار قدیم اشاره کرد. بنا بر یافته‌های مدیریتی سیلاب در کشورهای پیشرفته و پیشرو در مقابل با بحران‌های محیطی، در این پژوهش نیز به دلیل آب‌گرفتگی محلات شهر قشم، هدف اصلی، شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی حوضه‌های شهری قشم در زمان وقوع سیلاب شهری است.

۲- پیشینه و مبانی نظری پژوهش

سیلاب‌های شهری ناشی از بارش‌های سنگین و نوع استفاده از زمین شهری و کاربری‌های اراضی موجود در منطقه نشأت می‌گیرد (Kilavi et al, 2018). پس از وقوع سیلاب به دلیل سطوح نفوذناپذیر کاربری‌های سکونتگاهی در شهر، آب نزول یافته سریعاً به رواناب تبدیل‌شده و وارد مجاری زهکشی و کانال‌های آب‌رو می‌شود که درنهایت با تخریب تأسیسات زیربنایی و خسارت اقتصادی بر شهر از خروجی حوزه بیرون می‌رود (Wu et al, 2019; Shen et al, 2019; Jahan Dedeh et al, 2019; Daliran Firouz et al, 2015; Moayeri & Entezari, 2008).

به بیانی بهتر، سیلاب شهری در حقیقت افزایش ناگهانی ارتفاع آب در سطح شهر به دلیل وقوع بارندگی شدید و رگباری می‌باشد که آب اضافه از دبی پایه و بستر مسیل و یا کانال خارج‌شده و وارد مناطق مجاور می‌شود که خسارت‌های قابل‌تأملی را بر تأسیسات زیربنایی، ساختمانی و کاربری‌های انسانی در سطح محله وارد می‌سازد. پایگاه داده‌ای مخاطرات محیطی نشان می‌دهد که از ۳۴۸ مخاطره‌ای که سالانه در ۱۰ کشور مخاطره‌آمیز جهان اتفاق می‌افتد (۲۰۱۸-۲۰۰۷)، حدود ۱۵۳ رویداد آن به سیلاب اختصاص دارد و در رتبه‌ی اول مخاطرات محیطی قرارگرفته است. در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۱۸۰۴ نفر به دلیل مخاطرات محیطی فوت کرده‌اند (Hataminejad et al, 2022) که از این تعداد ۲۸۷۹ نفر به دلیل مخاطره‌ی سیلاب بوده است که پس از زلزله در رتبه‌ی دوم قرار دارد. در سال ۲۰۱۸ حدود ۶۸/۵ میلیون نفر به دلیل مخاطرات درخطر قرارگرفته‌اند که ۳۴/۲ میلیون نفر آن به دلیل مخاطره‌ی سیلاب بوده است که از این لحاظ در رتبه‌ی اول قرار دارد. درنهایت در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۳۲ میلیارد دلار مخاطرات بر اقتصاد جهانی خسارت وارد کرده است که از رقم حدود ۱۹/۷ میلیارد دلار آن مربوط به سیلاب بوده که پس از مخاطرات طوفان و آتش‌سوزی در رتبه‌ی سوم قرار دارد (EM-DAT, 2020). این آمارهای رسمی از پایگاه مخاطرات محیطی بیان‌گر اثر اقتصادی- اجتماعی و جانی سیلاب بر جامعه‌ی بشری و محیط‌زیست است که بدون برنامه-ریزی مقابله با آن بی‌اثر خواهد ماند.

بدین ترتیب، سیلاب شهری، پدیده‌ای محیطی است که اگرچه در طبقه‌ی مخاطرات هیدرولوژیکی قرار دارد، اما برای شناسایی علت وقوع و راهکارهای مدیریتی جهت کنترل آن، نیاز به بهره‌گیری از دیگر علوم محیطی همچون آب‌وهوا شناسی، آبخیزداری و مدیریت حوزه‌های آبریز است، چون سیستم‌های اتمسفری در وقوع بارش‌های رگباری نقش دارد و در محیط در ترکیب با عوامل توپوگرافیکی، توپولوژی سطحی، کاربری اراضی و مورفولوژی حوزه‌های آبریز برمبنای شیب و هیدرولیک رودخانه و مسیل‌های آبراهه‌ی شهری، موجب وقوع پدیده‌ی سیلاب می‌گردد (Hua et al, 2020)؛ بنابراین، در بررسی مسئله‌ی سیلاب به‌ویژه در مناطق سکونتگاهی، ترکیبی از علوم محیطی می‌تواند در شناخت سازوکار و تکوین سیلاب شهری نقش مهمی ایفا کند. هم‌چنین مدل‌های رایانه‌ای به‌منظور شبیه‌سازی رفتار سیلاب شهری ارتقاءیافته‌اند که رویکرد آن‌ها مبتنی بر تبدیل بارش به رواناب است که با ارزیابی و صحت‌سنجی این مدل‌ها می‌توان به نتایج آن‌ها درزمینه‌ی برآورد حجم و دبی رواناب ناشی از سیلاب اعتماد نمود.

علاوه بر آن، شناخت رفتار هیدرولیکی رواناب‌های ناشی از سیلاب شهری، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مدیریتی جهت کنترل سیلاب دارد

و پژوهشگران نیز با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای همچون SWMM، HEC-HMS و HEC-RAS به همراه سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به شبیه‌سازی و برآورد جریان سیلاب در کاربری‌های مختلف پرداخته‌اند (Stoleriu et al, 2020; Kabeja et al, 2019; Cowles et al, 2019; Jahanbakhsh Asal, 2018; Rahimzadeh & Habibi, 2018). دراین‌بین، برای شبیه‌سازی و برآورد رفتار سیلاب شهری، پژوهشگران مدل SWMM را طراحی نموده و از آن استفاده می‌نمایند. همچنین پژوهشگران در ارزیابی مدل SWMM و صحت‌سنجی آن از معیار ناش‌ساتکلیف و RMSE استفاده می‌نمایند که نتایج آن‌ها بیان‌گر قابل‌اعتماد بودن مدل و توانایی آن در شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری و رولناب‌های ناشی از آن است (Taatpour et al, 2019; Babaei et al, 2018; karimi et al, 2015).

خلیقی سیگارودی و همکاران (۱۳۹۴) از مدل SWMM برای شبیه‌سازی رواناب شهری در شهرک امام علی مشهد استفاده نموده و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که می‌توان از این مدل در طراحی و ارزیابی سیستم شبکه‌ی زهکشی شهری استفاده کرد. هم‌چنین مدل SWMM توانایی قابل‌قبولی در شبیه‌سازی هیدروگراف و برآورد حجم جریان و دبی اوج سیلاب‌ها دارد که در مواقع بحران سیلابی نتایج آن می‌تواند در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار بگیرد (Rashidpour et al, 2017). در ضمن این مدل کارایی قدرتمندی در شبیه‌سازی کمیت رواناب‌ها در شهرهای ساحلی دارد و پژوهشگران نشان دادند که نتایج آن قابل‌اعتماد می‌باشد (Heydarzadeh et al, 2017).

در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی سیلاب شهری، مدل‌های بسیاری توسعه داده‌شده است. SWMM یک بسته نرم‌افزاری قدرتمند برای تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های سیلابی می‌باشد. این نرم‌افزار که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) تهیه‌شده، یک بسته نرم‌افزاری رابط برای آماده‌سازی مجموعه‌ی داده‌ها برای مدل مدیریت سیلاب سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده (US. EPA SWMM) می‌باشد. SWMM یک مدل پویای بارش- رواناب می‌باشد که برای شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف هیدرولوژیکی شهری و چرخه‌ی کمّی و کیفی آن ازجمله بارش، جریان روزمینی، روندیابی جریان در شبکه زهکشی و تمرکز آلودگی‌های غیر نقطه‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد. مدل SWMM از مفاهیم شناخته‌شده‌ی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی سیلاب در حوضه‌ی شهری استفاده می‌کند.

تحلیل هیدرولوژیکی در مدل SWMM توسط بلوک رواناب انجام می‌شود. بلوک رواناب، آب‌های سطحی و بارهای آلودگی را در پاسخ به بارش و تجمع آلودگی سطحی برآورد می‌نماید. کلید استفاده از رواناب، تقسیم نمودن حوضه به تعدادی زیر حوضه است که هر زیر حوضه باید نسبتاً همگن باشد. سطح هر زیر حوضه به‌صورت یک مخزن غیرخطی با یک ورودی منفرد (بارش) عمل می‌نماید. در مقابل، خروجی‌ها عبارت‌اند از نفوذ، تبخیر و رواناب سطحی. ظرفیت این مخزن برابر است با حداکثر ذخیره نگهداشت که مساوی است با حداکثر ذخیره سطحی ایجادشده به‌وسیله‌ی گودال‌ها، رطوبت سطحی و برگاب. رواناب سطحی هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن از حداکثر ذخیره نگه‌داشت بیش‌تر شود. هم‌چنین آب ذخیره‌شده در اثر نفوذ و تبخیر کاهش می‌یابد. نفوذ تنها هنگامی اتفاق می‌افتد که سطح زمین نفوذپذیر باشد. جریان خروجی به‌وسیله‌ی شکل کلی معادله مانینگ به دست می‌آید:

$$Q = W.\frac{1}{n}\,(d_p)^{\frac{5}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

که در این رابطه، S شیب زیر حوضه برحسب متر بر متر، W عرض جریان بر روی زیر حوضه یا

عرض جریان سطح‌الارضی برحسب متر، d عمق آب روی زیر حوضه برحسب متر، dp عمق حداکثر ذخیره چالابی برحسب متر است. پیچیده‌ترین پارامتر در معادله بالا عرض جریان روزمینی W می‌باشد که برابر است با عرضی که در طول آن رواناب سطحی به وقوع می‌پیوندد.

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر در راستای مدل‌سازی، پیش‌بینی و دفع آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش‌های سیلابی با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی SWMM انجام‌گرفته است. بدین ترتیب، این پژوهش از حیث هدف، پژوهشی کاربردی و به لحاظ ماهیت، پژوهشی توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، به‌منظور تخمین حجم آب‌های سطحی در زیر حوضه‌های شهری قشم، کانال‌ها و منهول‌ها در مواقعی که بارش سنگین بیش از ۵۰ میلی‌متری اتفاق می‌افتد، با مدل هیدرولوژیکی SWMM شبیه‌سازی و تخمین زده‌شده است. به‌گونه‌ای که با استفاده از این مدل، میزان تبدیل بارش به رواناب در سطح محلات شهر قشم محاسبه‌شده است. همچنین در مواقع سیلابی، شبکه جمع‌آوری رواناب‌های سطحی چه پاسخی در برابر سیلاب دارند و میزان عمق دبی و جریان آب در کانال‌ها و منهول‌های شهری پیش‌بینی‌شده است.

بدین ترتیب، در پژوهش حاضر، به‌منظور تخمین و شبیه‌سازی سیلاب و رواناب شهری قشم با استفاده از مدل SWMM، مراحل زیر انجام‌یافته است:

۱) تقسیم شهر قشم به زیر حوزه‌ها بر مبنای شیب و مسیر خروجی رواناب‌های شهری؛
۲) ترسیم نقشه‌ی کانال‌های زهکشی، منهول‌ها و خروجی نهایی رواناب؛
۳) تهیه و ورود اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی به مدل؛
۴) روندیابی جریان غیر ماندگار رواناب‌های شهری قشم؛
۵) حل معادله هورتن برای محاسبه‌ی نفوذ آب در زیر حوزه‌های شهری قشم.

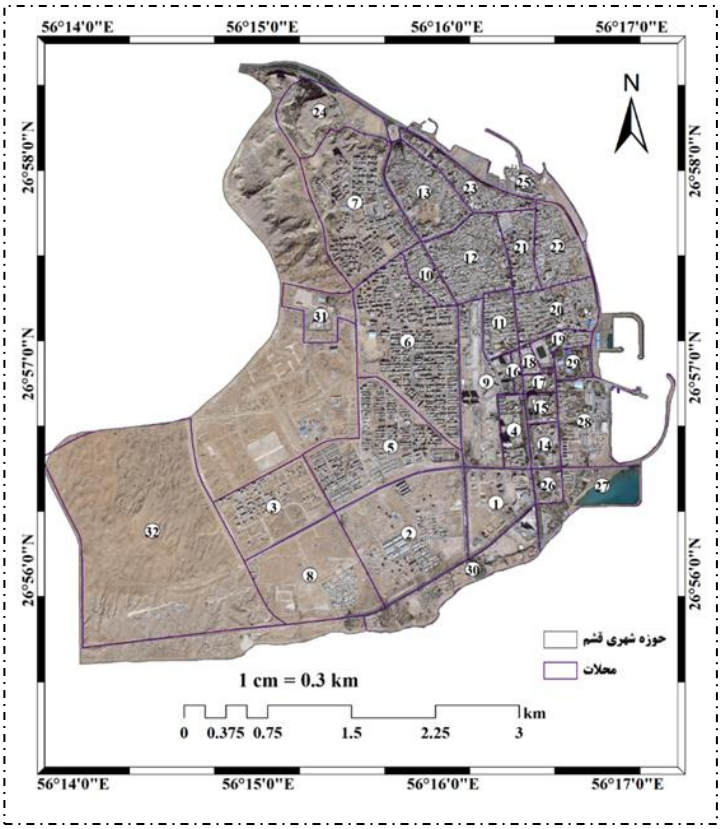
همچنین، در این مطالعه برای تعیین مرز حوزه‌ی شهری قشم از نقشه‌ی کاربری اراضی و بررسی‌های میدانی راجع به نحوه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی، شیب‌بندی خیابان‌ها و کوچه‌ها و همچنین استفاده از نقشه توپوگرافی، مرز حوضه و زیر حوضه‌ها تعیین گردید. برای محاسبه‌ی خصوصیات مجاری بازدیدهای میدانی و یادداشت خصوصیات آن مانند طول آب‌رو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف و سطح مقطع الزامی است که در این پژوهش اطلاعات موردنیاز برداشت‌شده است. مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیر حوضه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازدید میدانی و تعیین مشخصات فیزیوگرافی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه‌شده است.

از سوی دیگر، نمونه‌برداری از آب‌های سطحی در محلات آبگیر شهر قشم به دلیل پیش‌بینی ناپذیربودن رگبارها و عدم استفاده از دستگاه‌های ثبات سخت و پُرهزینه است؛ بدین ترتیب، در پژوهش حاضر، از نتایج و گزارش‌های وقایع سیلاب شهری استفاده‌شده که از دو مورد برای واسنجی و یک مورد برای ارزیابی مدل استفاده‌شده است.

۴- محدوده مورد مطالعه

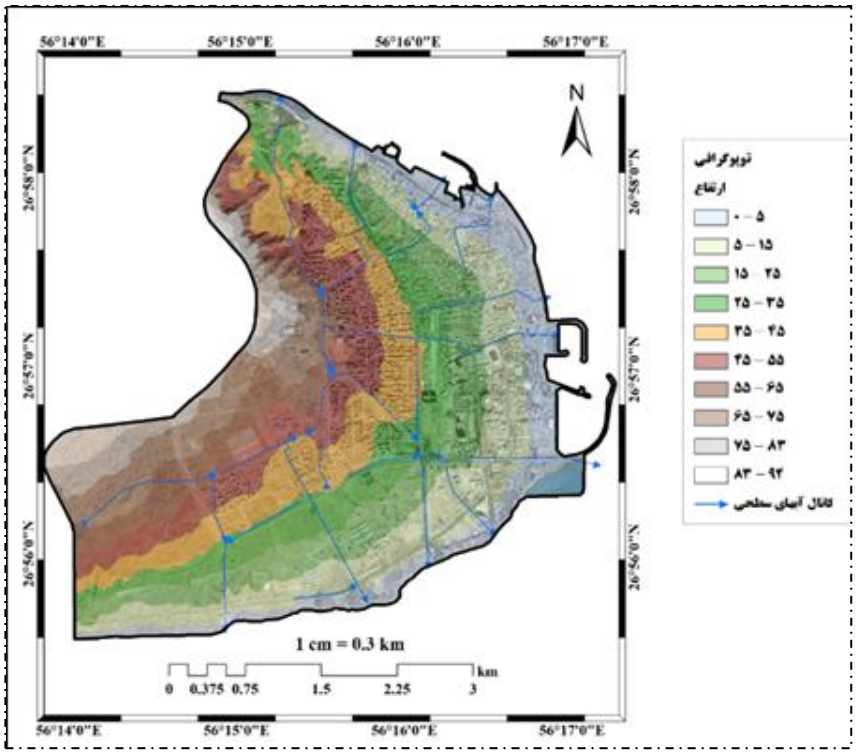
شهر قشم در استان هرمزگان و مرکز شهرستان قشم، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر جزیره در شمال‌شرقی آن و در ۲۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۵۸ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۱۸ دقیقه‌ی طول شرقی، در ارتفاع ۳۵ متر از سطح دریا در ساحل دریای خلیج‌فارس واقع گردیده است (شکل ۱). شهر قشم از جهات شمال، جنوب و شرق به دریا منتهی می‌گردد. اسکله‌ی شهید ذاکری در شمال شرقی، اسکله‌ی فجر و شرکت نفت در شمال

و اسـکله‌ی ۲۲ بهمن در جنوب شـرقی شـهر قشـم واقع‌شده است.



شکل ۱. محله‌های شهر قشم (۱: سایت سمن، ۲: شهرک گلستان، ۳: شهرک سیستان، ۴: سایت نخل زرین، ۵: شهرک بوستان، ۶: شهرک سام و زال، ۷: شهرک نریمان، ۸: شهرک بهارستان، ۹: سایت زادبوم، ۱۰: محله بهزیستی، ۱۱: محله شرق فرودگاه، ۱۲: محله مولاموسی، ۱۳: محله زیرانگی، ۱۴: سایت سیمین، ۱۵: سایت دریا، ۱۶: سایت پردیس، ۱۷: سایت بانک‌ها، ۱۸: سایت ستاره، ۱۹: صحرا سینا، ۲۰: چابهار، ۲۱: بازار، ۲۲: مسنی‌ها، ۲۳: مسجد صاحب الزمان، ۲۴: سایت ایران‌زمین، ۲۵: اسکله سنگی، ۲۶: سایت نعیم، ۲۷: شهرک ساحلی، ۲۸: اسکله بهمن، ۲۹: سایت آب‌شیرین‌کن، ۳۰: سایت زیتون، ۳۱: بیمارستان، ۳۲: ساحل جنوبی)

شهر قشم بر اساس دسته‌بندی ارتفاعی صورت گرفته در پهنه‌ی ارتفاعی ۱۰ تا ۶۰ متر قرارگرفته است (شکل ۲). اراضی کمتر از ۱۰ متر بخش شرقی نوار ساحلی را در برمی‌گیرد و بیان‌کننده‌ی جلگه و اراضی مسطح می‌باشد. به‌طرف غرب و شمال‌غرب بر ارتفاعات افزوده می‌شود. بستر شهر قشم در پهنه‌ای واقع‌شده که جهت عمومی شیب آن از غرب به شرق، مرکز به سمت شمال و مرکز به سمت جنوب می‌باشد. وضعیت شیب در نحوه‌ی حرکت رواناب‌های سطحی و جهت آن نقش دارد. پایین‌ترین طبقه‌ی شیب را شیب‌های کمتر از دو درصد تشکیل می‌دهد که اراضی حاشیه سواحل را در برمی‌گیرد. محدوده‌ی شهر در دسته‌ی شیب ۲ تا ۱۰ درصد واقع‌شده است. بالاترین میزان شیب در دامنه-های ارتفاعات پیرامونی شهر در سمت شمال‌غرب و جنوب‌غرب مشاهده می‌شود و میزان آن به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. بالا بودن درصد شیب در این دامنه‌ها و حساسیت سازندهای زمین‌شناسی این اراضی را مستعد فرسایش آبی نموده است.



شکل ۲. توپوگرافی شهر قشم

۵- یافته‌های پژوهش

در این پژوهش از دو واقعه‌ی (۱۳۹۸/۳/۱۷) و (۱۳۹۸/۱۰/۱۹) برای واسنجی مدل SWMM استفاده‌شده است. در راستای تجزیه‌وتحلیل نتایج از معیار Nash، از واقعه‌ی سوم ۱۳۹۹/۱/۲۷ برای ارزیابی مدل و همچنین به‌منظور تجزیه‌وتحلیل نتایج از ضریب ناش و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده‌شده و نتایج آن در جدول ۱ ارائه‌شده است که مبتنی بر آن دبی، عمق و سرعت رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با مدل SWMM مقایسه شده و اختلاف آن‌ها معنی‌دار نیست و گویای این موضوع است که مدل قادر به برآورد و شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی سیلاب شهری می‌باشد.

جدول ۱. نتایج واسنجی و ارزیابی مدل SWMM در وقایع مشاهداتی سیلاب شهری قشم

مدل SWMM	واقعه‌ی سیلاب	فاکتورهای رواناب	معیار NS	معیار RMSE
واسنجی مدل	۱۳۹۸/۳/۱۷	دبی	۰/۷۳	۰/۰۱۸
		عمق	۰/۵۹	۰/۰۱۴
		سرعت	۰/۹۱	۰/۰۰۹
	۱۳۹۹/۱۰/۱۹	دبی	۰/۷۹	۰/۰۰۹
		عمق	۰/۶۲	۰/۰۱۴
		سرعت	۰/۷۷	۰/۰۱۱

مدل SWMM	واقعه‌ی سیلاب	فاکتورهای رواناب	معیار NS	معیار RMSE
ارزیابی مدل	۱۳۹۹/۱/۲۷	دبی	۰/۸۴	۰/۰۰۵
		عمق	۰/۷۸	۰/۰۱۱
		سرعت	۰/۹۵	۰/۰۰۱

(منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۴۰۲)

بررسی حاصل از ورودی و خروجی بارش و تبدیل آن به رواناب در حوزه‌ی شهری قشم نشان می‌دهد که از ۷۰ میلی‌متر بارندگی، ۴۷/۸ میلی‌متر آن به رواناب تبدیل‌شده است. در هنگام بارندگی، بر اساس کاربری اراضی منطقه و میزان درصد نفوذپذیری و نفوذناپذیری شهر قشم، حدود ۱/۳۹ میلی‌متر نیز به داخل خاک نفوذ کرده است. درنهایت، حدود ۲۵/۷۸ میلی‌متر نیز در چالاب‌های سطحی ذخیره‌شده است (جدول ۲).

جدول ۲. میزان ورودی بارش و خروجی رواناب‌ها در حوزه‌ی شهری قشم با بارش ۷۰ میلی‌متری

ورودی و خروجی از سیستم	پارامتر	عمق سیلاب (میلی‌متر)
ورودی	بارش	۷۰
خروجی	حذف از طریق نفوذ	۱/۳۹
	تبدیل آب به رواناب	۴۷/۸
	ذخیره در چالاب سطحی	۲۵/۷۸

(منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۴۰۲)

از بارش ۷۰ میلی‌متری در حوزه‌ی شهری قشم، حدود ۶۶۶ میلیون لیتر آب به راه افتاده که حدود ۳۵۵ میلیون لیتر از آن به‌صورت سیلاب هدررفته و حدود ۳۱ میلیون لیتر از این آب در چالاب‌های سطحی ذخیره‌شده است (جدول ۳).

جدول ۳. میزان ورودی و خروجی حجم آب در حوزه‌ی شهری قشم پس از وقوع بارش ۷۰ میلی‌متری

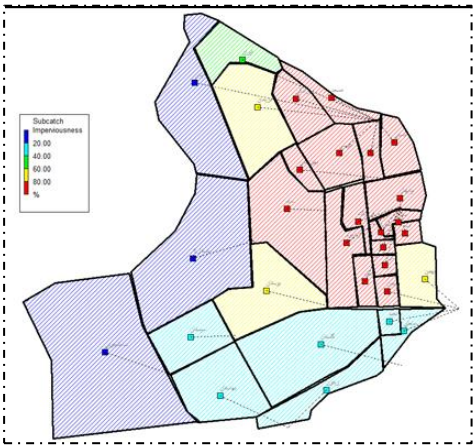
جریان	پارامتر	حجم آب (میلیون لیتر)
ورودی	جریان آب ناشی از بارندگی	۶۶۶
خروجی	هدر رفت آب از طریق سیلاب	۳۵۵
	ذخیره در چالاب سطحی	۳۱۱

(منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۴۰۲)

۱-۵- خصوصیات زیر حوضه‌های شهری قشم

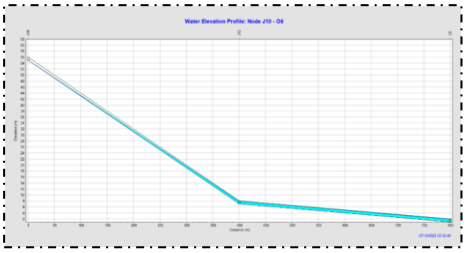
مدل SWMM یک مدل مفهومی است که می‌توان شکل فرضی حوضه را در محیط آن ترسیم کرد؛ اما در این مطالعه، محله‌های شهر قشم به‌عنوان زیر حوضه‌های شهری در نظر گرفته‌شده‌اند تا دقت مدل‌سازی بیشتر شده و ضریب خطای مفهومی آن نیز کاش یابد. با ورود اطلاعات مربوط به کاربری اراضی، درصد نفوذناپذیری زیر حوضه‌های شهری قشم به‌دست‌آمده است (شکل ۳) که نشان می‌دهد، حوضه‌هایی شرقی شهر که مرکز اصلی شهر قشم نیز می‌باشد، به دلیل تراکم بالای ساخت‌وسازهای شهری، از درصد نفوذناپذیری زیادی (بیش از ۸۰ درصد زیر

حوضــه) برخوردار اســت؛ اما زیر حوضــه‌های غربی و جنوب‌غربی که عمدتاً بایر بوده و شــهر به‌تدریج به این نواحی گســترش می‌یابد، درصــد نفوذناپذیری بســیار کمی دارد که عمدتاً کمتر از ۲۰ درصد هر زیر حوضه، نفوذناپذیر است.



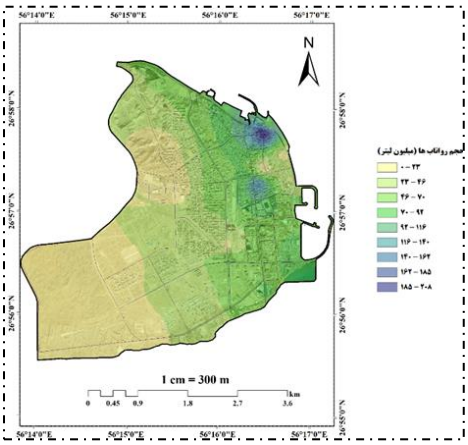
شکل ۳. درصد نفوذناپذیری حوضه‌های شهری (محله) قشم

شکل ۴ پروفیل عرضی کانال آب‌های سطحی بازار قدیم را از جنوب به سمت شمال در مسیر حرکت شیب نشان می‌دهد که در آن آب با شیب زیاد وارد کانال شده و پس از رسیدن به محله بازار قدیم شیب آن تقریباً صفر شده و موجب آب‌گرفتگی محله می‌شود.



شکل ۴. پروفیل عرضی کانال آب‌های سطحی از غرب به شرق در مسیر شیب ورود به محله چابهار

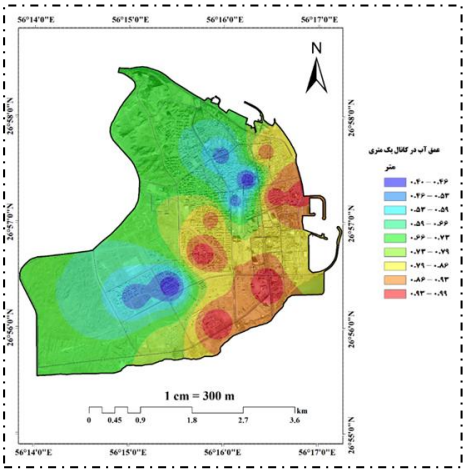
شکل ۵ نشان می‌دهد که در منهول‌های نواحی شرقی قشم به‌ویژه در محله‌های چابهار و بازار قدیم، حجم رواناب بسیار زیاد شده و در طی ۶ ساعت، رواناب واردشده به این منهول‌ها به بیش از ۲۰۰ میلیون لیتر می‌رسد؛ اما در حوضه‌های غربی شهر به دلیل تراکم پایین سکونتگاهی و همچنین مسیر شیب آن به سمت شرق، رواناب در منهول‌های آن کمتر از نواحی شرقی شهر قشم است.



شکل ۵. حجم رواناب‌های واردشده به منهول‌های شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

۲-۵- عمق آب در کانال آب‌های سطحی قشم

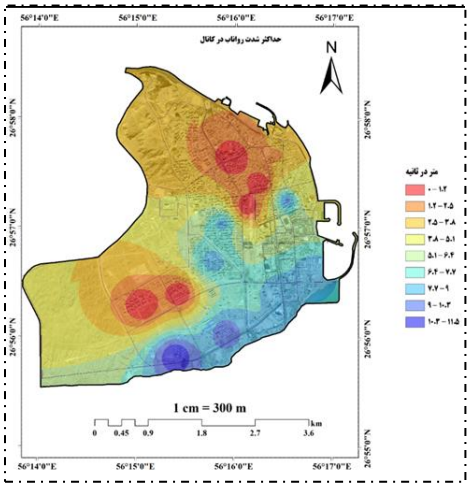
کانال آب‌های سطحی شهر قشم از سمت غرب به شرق کشیده شده تا به دریا می‌ریزند. با بارش ۷۰ میلی‌متری در طی ۶ ساعت، کانال آب شهر پرشده و به سمت شرق جریان می‌یابد. هرچه به سمت شرق حرکت می‌کند، ظرفیت کانال آب‌های سطحی نیز تکمیل‌شده و در محله‌های ساحلی آب از کانال سرریز کرده و وارد محله می‌شود. شکل ۶ نشان می‌دهد که در محله‌های چابهار و بازار قدیم و دیگر محلات ساحلی در جنوب شهر قشم، ظرفیت کانال آب‌های سطحی تکمیل‌شده و آب با عمق نزدیک به یک متر به سمت شرق جریان می‌یابد.



شکل ۶. عمق آب در کانال آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

۵-۳- شدت‌جریان رواناب در کانال آب‌های سطحی قشم

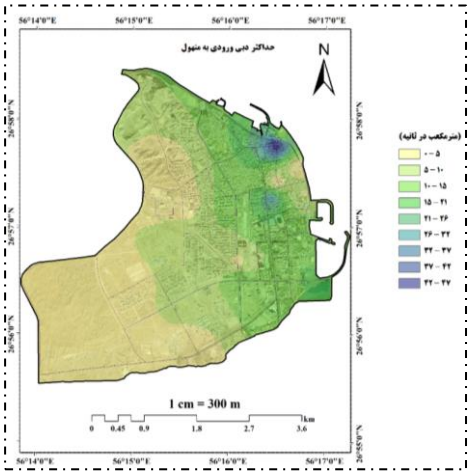
شدت‌جریان آب که به متر در ثانیه ارائه‌شده است، در نواحی ساحلی شهر قشم بیشترین میزان را دارد و در این کانال‌ها، شدت‌جریان رواناب ناشی از بارش ۷۰ میلی‌متری به بیش از ۱۰ متر در ثانیه می‌رسد. در بخش غربی محله چابهار، ابتدا رواناب در کانال آب‌های سطحی سرعت زیادی دارد، اما با ورود به محله به دلیل کاهش شیب، سرعت و شدت رواناب در کانال کاهش‌یافته و موجب تجمع آب در محله می‌شود. در محله بازار قدیم نیز به دلیل کاهش شیب، شدت رواناب در کانال بسیار پایین بوده و این شرایط موجب آبگیری محله می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷. شدت‌جریان آب در کانال آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

۵-۴- دبی رواناب در منهول آب‌های سطحی قشم

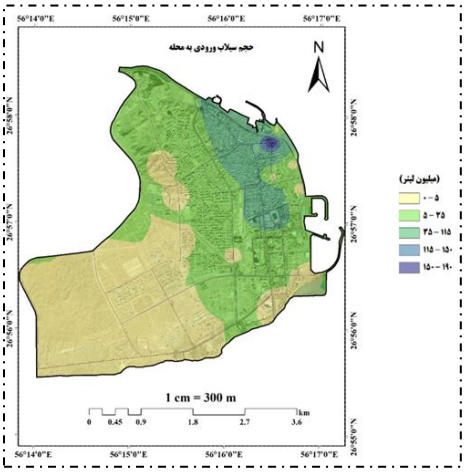
رواناب‌ها که از کانال آب‌های سطحی به سمت غرب جریان می‌یابند، از طریق گره‌ها (منهول) به کانال‌های بعدی جریان می‌یابد. در شهر قشم، پس از بارش ۷۰ میلی‌متری، بیشترین دبی ورودی به گره محله بازار قدیم و بخش غربی محله چابهار است که به بیش از ۴۰ مترمکعب در ثانیه می‌رسد؛ اما در نواحی غربی شهر قشم که عمدتاً اراضی بایر است، دبی رواناب در گره‌ها کمتر از نواحی شرقی است، چون در محله‌های شرقی، رواناب ایجادشده از محله‌های مرکزی به رواناب‌های غربی اضافه‌شده و به سمت محله‌های شرقی جریان می‌یابد (شکل ۸).



شکل ۸. دبی رواناب ورودی به منهول آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

۵-۵- حجم سیلاب در محله‌های قشم

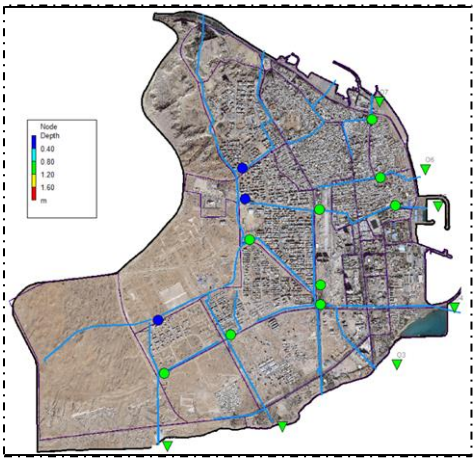
پس از بررسی حجم و ظرفیت کانال آب‌های سطحی شهر قشم و رواناب ایجادشده پس از بارش ۷۰ میلی‌متری در طی ۶ ساعت و همچنین شدت‌جریان رواناب در کانال و منهول‌ها، حجم سیلاب خارج‌شده از کانال و حرکت آن به سمت محله‌های شهر نیز محاسبه گردیده و نتایج آن در شکل ۹ ارائه‌شده است. همان‌طور که نمایان است، بیشترین حجم سیلاب محله‌های بافت قدیمی شهر قشم در نواحی شرقی در محله‌های بازار قدیم و چابهار اتفاق افتاده است که در آن بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیون لیتر آب از کانال خارج‌شده و وارد محله می‌شود.



شکل ۹. حجم آب سیلابی خارج‌شده از کانال آب‌های سطحی شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

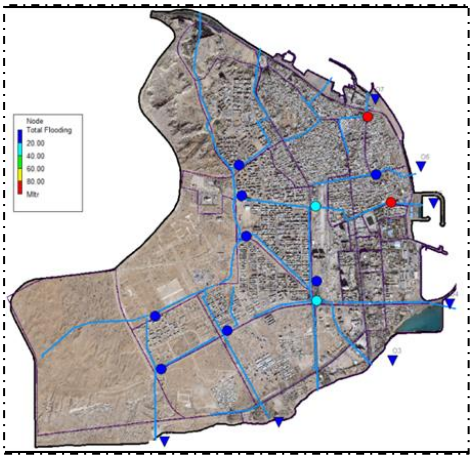
۶-۵- عمق رواناب در منهول آب‌های سطحی قشم

در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است که عمق رواناب در گره‌ها که کانال آب‌های سطحی شهر قشم را به هم متصل می‌کند، عمدتاً بیش از یک متر است که با این شرایط، رواناب از کانال سرریز کرده و وارد محله‌های شهر قشم می‌شود.



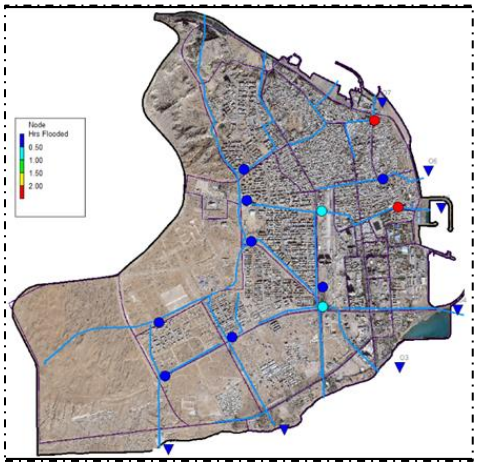
شکل ۱۰. عمق رواناب در منهول‌های (گره) شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

شکل ۱۱، حجم کل سیلابی که از گره خارج‌شده و وارد محله می‌شود را نشان می‌دهد که در دونقطه که در محله چابهار و بازار قدیم قرار دارد، بیشترین حجم سیلاب وجود دارد؛ اما در محله‌های غربی و جنوبی حجم سیلاب خروجی از گره بسیار کم است و نمی‌تواند موجب آب‌گرفتگی محله شود.



شکل ۱۱. حجم سیلاب خروجی از منهول‌های (گره) شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

شکل ۱۲، میزان ساعتی که سیلاب از گره خارج‌شده و وارد محله شده است را نشان می‌دهد که بیشترین آن با بیش از ۲ ساعت (از بارش ۶ ساعتی)، در محله‌های چابهار و بازار قدیم است. در این محله‌ها پس از ۳ ساعت بارندگی، آب از کانال‌ها و منهول‌ها (گره) سرریز شده و به مدت ۲:۳۰ دقیقه آب به‌طور مداوم وارد محله‌ها شده است.



شکل ۱۲. حجم سیلاب خروجی از منهول‌های (گره) شهر قشم پس از بارش ۷۰ میلی‌متری

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

همان‌طور که اشاره شد، شناخت رفتار هیدرولیکی رواناب‌های ناشی از سیلاب شهری، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مدیریتی جهت کنترل سیلاب دارد و پژوهشگران نیز با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای همچون SWMM، HEC-HMS و HEC-RAS به همراه سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به شبیه‌سازی و برآورد جریان سیلاب در کاربری‌های مختلف پرداخته‌اند. در این پژوهش نیز از مدل SWMM برای شناخت سیلاب شهری قشم استفاده گردید که ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج مدل با مشاهدات تجربی به‌وسیله‌ی معیار ناش‌ساتکلیف و RMSE بیان‌گر قابل‌اعتماد بودن نتایج مدل در برآورد رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری می‌باشد.

سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و شبکه‌ی زهکشی شهری یکی از زیرساخت‌های مهم شهری محسوب می‌شود و نقش مهمی در هدایت رواناب‌های ناشی از سیلاب دارد؛ اما قبل از آن می‌بایست رفتار هیدرولیکی رواناب‌ها از قبیل دبی پیک، شدت‌جریان و حجم آب ورودی به شبکه را شناسایی نمود. در مواقع وقوع بارش‌های سنگین، در سطوح نفوذناپذیر شهری که از کاربری‌های مسکونی و پُرتراکم تشکیل‌شده است، سیلاب شهری به راه می‌افتد و حجم رواناب زیادی در چندین دقیقه وارد شبکه‌ی زهکشی شهری می‌شود که در صورت عدم ظرفیت کافی مجاری، پس‌زدگی آب و پُرشدگی کانال‌ها اتفاق می‌افتد و خسارت‌های اقتصادی و ترافیکی و جانی شدیدی بر شهر وارد می‌سازد.

در پژوهش حاضر با استفاده از مدل SWMM کمیت رواناب شهری برآورد گردید که در ارزیابی مدل از مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده استفاده شد و

نتایج معیارهای صحت‌سنجی بیان‌گر قابل‌قبول بودن نتایج شبیه‌سازی مدل بود. نتیجه‌ی مدل‌سازی سیلاب شهری در قشم بیان‌گر این بود که مناطق پرتراکم و بافت قدیم شهر قشم شامل محلات بازار قدیم و چابهار به دلیل شیب بسیار کم و سطح هموار و حتی شیب معکوس بستر زمین، در مواقع بارش‌های سیلابی، آبگیر شده و آب‌های سطحی از این محلات خارج نمی‌شود و منهول‌ها و مجاری زهکشی در این محله‌ها در زمان وقوع سیلاب ظرفیت کافی برای انتقال رواناب ندارند. با این شرایط، نتایج این پژوهش می‌تولند در اختیار برنامه‌ریزان و طراحان سیستم‌های هدایت آب‌های سطحی و شبکه‌ی زهکشی شهری قشم قرار بگیرد. با این تفاسیر در ادامه به برخی از پیشنهادات برنامه‌ریزی در راستای کاهش رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری در سطح شهر قشم و محلات آن اشاره‌شده است:

- بهره‌گیری از زیرساخت‌های سبز همچون بام‌های سبز، سنگ‌فرش‌های نفوذپذیر و غیره به‌منظور کاهش حجم رواناب‌های سطحی
- تهیه طرح مدیریت سیلاب شهری برای شهر قشم
- تشویق ساکنان به تشکیل سازمان‌های مردم‌نهاد برای امر مدیریت سیلاب‌های شهری
- تقویت سیستم دفع آب‌های سطحی شهر
- افزایش پوشش گیاهی و سبز در محدوده‌های با شیب کم و معکوس
- ساخت سیل‌بندها در مسیل‌های پرخطر شهر

7- Refrences

Persian Refrences:

1. Akbarpour, M., Mousavi Eraghi, Sh., & Azimi, S. (2020). The role of human creativity in the sustainable development of tourism in Qeshm Island, Iranian Urbanism, 3 (4), 159-167.
2. Babaei, S., Ghazavi, R., & Erfanian, M. (2018). Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 105, 3-11.
3. Badieizadeh, S., Bahremand, A.R., Dehghani, A.A. & Nora, N. (2015). Urban flood management through surface runoff simulation using SWMM model in Gorgan city, Golestan province. Journal of Water and Soil Protection Research, Volume 22, Number 4, pp. 155-170.
4. Daliran Firouz, H., Mokhtari Khozani, F., Soltani, S., & Mousavi, S.A. (2015). Assessment of flood damage in Qamsar and Gharoud watersheds using HEC-FIA software, Science Journal Water and soil (agricultural sciences and techniques and natural resources), year 19, number 74, pp. 63-75.
5. Hataminejad, H., Asiai, M., & Goharkhah, F. (2022). Evaluation and measurement of dimensions and components of resilience of Golbahar new city against natural hazards, Iranian Urbanism, 5 (8), 150-170.
6. Heydarzadeh, M., Nohegar, A., Malekian, A., & Khurani, A. (2017). Evaluation and sensitivity analysis of the amount of runoff and drainage system in a coastal urban basin (case study: Bandar Abbas coastal city). Journal of Water and Soil Conservation Research, Volume 24, Number 3, pp. 203-218.
7. Jahan Dedeh, A., Asadi-Nilvan, A., Faraji, N., & Valion Kioj, M. (2019). Identifying types of floods as an environmental crisis and factors influencing its occurrence, 14th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran, 25 and 26 July 2018, Urmia University.
8. Jahanbakhsh Asal, S., Rezaei Banafsheh, M., Rostamzadeh, H., & Alinezhad, M.H. (2018). Continuous simulation of runoff precipitation in Shahrchai basin of Urmia using HEC-HMS model. Journal of Hydrogeomorphology, No. 16, pp. 101-118.
9. karimi, V., Soleimani, K., Habibnezhad Roshan, M., & Shahidi, K. (2015). Flow simulation in underground and surface sewers with EPA-SWMM model (Case study: Babolsar urban area), Watershed Management Journal, Year 6, Number 11, pp. 162-170.
10. Khalighi Sigardavi, S., Rostami Khalej, M., Mahdavi, M., and Salajegheh, A. (2015). Calibration and evaluation of the SWMM model in order to simulate urban runoff (case study: Imam Ali township, Mashhad city), Iranian Journal of Natural Resources, Volume 68, Number 3, pp. 487-498.
11. Moayeri, M., & Entezari, M. (2008). Floods and a review of floods in Isfahan Province, Geographical Landscape Quarterly, Year 3, Number 6, pp. 110-124.
12. Rahimzadeh, Z., & Habibi, M. (2018). Simulation of flood hydrograph with HEC-HMS hydrologic model and prediction of return period in Ravansar basin of Kermanshah, Geography and Development, No. 53, pp. 175-194.
13. Rashidpour, M., Soleimani, K., Shahedi, K., & Karimi, V.A. (2017). Flood simulation in the surface runoff drainage network (case study: Prince Babolsar River-Mazandaran urban watershed). Watershed Management Journal, Year 8, Number 15, pp. 213-224.
14. Taatpour, F., Khorsandi Kohanestani, Z., & Armin, M. (2019). Evaluation of the efficiency of the surface water collection and disposal network using the SWMM model (case study: Likk city, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces), Journal of Irrigation Science and Engineering, Volume 42, pp. 33-48.

Latin Refrences:

1. Cowles, A., Willson, C., & Twilley, R. (2019). Effects of Land-Use Change (1938–2018) on Surface Runoff and Flooding in the Amite River Basin, Louisiana, USA Using Coupled 1D/2D HEC-RAS–HEC-HMS Hydrological Modeling.
2. Elliott, E., Bain, D., Shelef, E., Thomas, B., River, M., & Guy, M. (2020). Flooding in Southwestern Pennsylvania: Knowledge Gaps and Approaches.
3. EM-DAT, The international Disaster Database. (2019).

4. Garner, M., Sebastian, A., Hakkenberg, C. R., Juan, A., Gori, A., & Bedient, P. B. (2019). Integrating Annual Landsat Imagery in a Hydrologic Impact Analysis of Localized Land Use Change for a Rapidly Developing Watershed in Houston, Texas. AGUFM, H53L-1943.
5. Hua, P., Yang, W., Qi, X., Jiang, S., Xie, J., Gu, X., & Krebs, P. (2020). Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. Journal of Cleaner Production, 242, 118515.
6. Jiang, L. E. I., Chen, Y., & Wang, H. (2015). Urban flood simulation based on the SWMM model. IAHS-AISH Proceedings and Reports, 368(1), pp.186-191.
7. Kabeja, C., Li, R., Guo, J., Rwabuhungu, D., Manyifika, M., Gao, Z., & Zhang, Y. (2019). The Impact of Reforestation Induced Land Cover Change (1990-2017) on Flash Flood Peak Discharge Using HEC-HMS Hydrological Model and Satellite Observations: A study in Data Scarce Tributary of Sichuan Basin, China. AGUFM, H13K-1868.
8. Kilavi, M., MacLeod, D., Ambani, M., Robbins, J., Dankers, R., Graham, R., & Todd, M. C. (2018). Extreme rainfall and flooding over central Kenya including Nairobi city during the long-rains season 2018: causes, predictability, and potential for early warning and actions. Atmosphere, 9(12), pp. 472.
9. Mohammed, M. H., Zwain, H. M., & Hassan, W. H. (2021). Modeling the impacts of climate change and flooding on sanitary sewage system using SWMM simulation: a case study. Results in Engineering, 12, 100307.
10. Schilling, K. E., Gassman, P. W., Kling, C. L., Campbell, T., Jha, M. K., Wolter, C. F., & Arnold, J. G. (2014). The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed. Hydrological processes, 28(8), pp. 3314-3325.
11. Shen, Y., Morsy, M. M., Huxley, C., Tahvildari, N., & Goodall, J. L. (2019). Flood risk assessment and increased resilience for coastal urban watersheds under the combined impact of storm tide and heavy rainfall. Journal of Hydrology, 579, 124159.
12. Stoleriu, C. C., Urzica, A., & Mihu-Pintilie, A. (2020). Improving flood risk map accuracy using high-density LiDAR data and the HEC-RAS river analysis system: A case study from north-eastern Romania. Journal of Flood Risk Management, 13, e12572.
13. Tang, Z., Engel, B. A., Pijanowski, B. C., & Lim, K. J. (2005). Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. Journal of environmental management, 76(1), pp. 35-45.
14. Wu, S., Jang, J., Wu, T., Lin, J., & Li, B. (2019). An evaluation of the flood diversion project d Junaidi ue to extreme rainfall event in Taipei City. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 615, No. 1, p. 012061). IOP Publishing.
15. Zeng, Z., Lai, C., Wang, Z., Chen, J., Chen, P., He, S., & Li, S. (2019). Rapid Simulation of Urban Rainstorm Flood Based on WCA2D and SWMM Model. AGUFM, H13J-1811.

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:

بایرامی، مریم و منصوری اطمینان، ابوالفضل. (۱۴۰۲). پیش‌بینی و برآورد رواناب و سیلاب شهری قشم با مدل هیدرولوژیکی SWMM، شهرسازی ایران، ۶ (۱۰)، ۲۱۹- ۲۳۵.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Iranian Urbanism Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

URL: https://www.shahrsaziiran.com/1402-6-10-article11/