

Urban Surface Runoff Simulation and Prioritization of Critical Sub Catchments Using SWMM Model and TOPSIS Method (Case Study: Shahrekord City)

M. Omid Arjenaki¹, H. R. Zarif Sanayei², H. Heidarzadeh³

1. MSc Student of Civil Engineering, Water Tendency and Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(Corresponding Author) Zarif@sku.ac.ir
3. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(Received Nov. 30, 2019 Accepted Jan. 13, 2020)

To cite this article:

Omid Arjenaki, M., Zarif Sanayei, H. R., Heidarzadeh, H. 2020. "Urban surface runoff simulation and prioritization of critical sub catchments using SWMM model and TOPSIS method (case study: Shahrekord city)" Journal of Water and Wastewater, 31(4), 99-113. Doi: 10.22093/wwj.2020.209846.2957. (In Persian)

Abstract

Runoff in urban areas causes road flooding. This issue has many problems in itself. Identifying areas prone to urban floods and flood-prone areas can greatly assist in planning of prevention and control of possible floods. In this study, using SWMM model, Shahrekord surface runoff collection network was simulated in 2, 5 and 10 year return periods. Model calibration was performed on 2 rainfall events on runoff depth parameter in several canal and random nodes. Sensitivity analysis was performed on the parameters affecting the total runoff of the catchment, and the equivalent width parameter was identified as the most sensitive parameter of the catchment. After calibration, validation was performed with optimum values in 2 other rainfall events. NSE, RMSE, and BIAS% coefficients were used to determine the modeling error in the calibration and validation steps in which the values of the coefficient of NSE obtained more than 0.8 in calibration and more than 0.9 in validation. These results showed that the simulation has a good accuracy. Results of SWMM model showed that surface runoff collection network is not sufficient for passing surface runoff during different return periods and the sub catchments 20, 90, 25, 39 and 99 have the highest amount of runoff, respectively. The results of TOPSIS method also showed that the most critical sub catchments are 92, 20, 25, 39 and 90, respectively. Most of these sub catchments are located in the southern part of the city. Due to the high density of residential and commercial areas and the lack of enough green space, the percentage of impermeable areas has been developed and as a result, the production of runoff has been increased. Comparison of SWMM model and TOPSIS method results shows 80% compliance in the selection of critical sub catchments. Therefore, using multi-criteria decision making algorithms such as TOPSIS can increase the accuracy of SWMM model in selecting and prioritizing the critical sub catchments. As a result, using this approach improves the decision making process in critical times.

Keywords: Runoff, Critical Sub Catchment, SWMM Model, TOPSIS Method.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۱، شماره ۴، صفحه: ۹۹-۱۱۳

شبیه‌سازی رواناب سطحی شهری و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی با استفاده از مدل SWMM و روش TOPSIS (مطالعه موردی: شهر شهرکرد)

مجید امید ارجنکی^۱، حامد رضا ظریف‌صنایعی^۲، هیم حیدرزاده چوری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش آب و سازه هیدرولیکی،
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی،
دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
Zarif@sku.ac.ir (نویسنده مسئول)
۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی،
دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(دریافت ۹۸/۹/۹ پذیرش ۹۸/۱۰/۲۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

امیدی ارجنکی، م.، ظریف‌صنایعی، ح.ر.، حیدرزاده چوری، ه.، ۱۳۹۹، "شبیه‌سازی رواناب سطحی شهری و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی با استفاده از مدل SWMM و روش TOPSIS (مطالعه موردی: شهر شهرکرد)" مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۴)، ۹۹-۱۱۳.

Doi: 10.22093/wwj.2020.209846.2957

چکیده

جاری شدن رواناب در نواحی شهری، باعث آب‌گرفتگی معابر می‌شود. این موضوع همواره مشکلات زیادی را به همراه دارد. شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب‌های شهری و نقاط دارای آب‌گرفتگی، می‌تواند کمک زیادی به برنامه‌ریزی برای جلوگیری و کنترل سیلاب‌های احتمالی کند. در این پژوهش با استفاده از مدل SWMM، شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی شهر شهرکرد، در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله شبیه‌سازی شد. واسنجی مدل در ۲ رویداد رگباری بر روی پارامتر عمق رواناب در چند کانال و گره تصادفی انجام شد. با انجام آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب کل حوضه، پارامتر عرض معادل به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر حوضه شناخته شد. پس از انجام کالیبراسیون، صحت‌سنجی با مقدار بهینه در ۲ رویداد رگباری دیگر انجام شد. برای تعیین خطای مدل‌سازی از ضرایب NSE، RMSE، و درصد BIAS، در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد که به‌عنوان نمونه مقدار ضریب NSE، در مرحله واسنجی بیشتر از ۰/۸ و در مرحله صحت‌سنجی بیش از ۰/۹ به دست آمد. این نتایج نشان از دقت خوب شبیه‌سازی دارد. نتایج مدل SWMM نشان داد شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی کفایت لازم را برای عبور رواناب سطحی در دوره بازگشت‌های مختلف ندارد و زیرحوضه‌های ۲۰، ۹۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۹ به ترتیب دارای بیشترین مقدار رواناب هستند. نتایج روش TOPSIS نیز نشان داد که بحرانی‌ترین زیرحوضه‌ها، به ترتیب ۹۲، ۲۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۰ هستند. اغلب این زیرحوضه‌ها در مناطق جنوبی شهر واقع شده‌اند. در این مناطق به دلیل تراکم زیاد مناطق مسکونی و تجاری و عدم وجود فضای سبز کافی درصد مناطق نفوذناپذیر و در نتیجه میزان رواناب تولیدی، افزایش یافته است. مقایسه نتایج مدل SWMM و روش TOPSIS نشان از تطابق ۸۰ درصدی در انتخاب زیرحوضه‌های بحرانی دارد. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای مانند روش TOPSIS می‌تواند دقت مدل SWMM را در انتخاب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی، افزایش دهد. در نتیجه استفاده از این روش باعث بهبود روند تصمیم‌گیری در مواقع بحرانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رواناب، زیرحوضه بحرانی، مدل SWMM، روش TOPSIS



۱- مقدمه

رویکرد پژوهش حاضر، شبیه‌سازی رواناب سطحی و مشخص کردن نقاط و زیرحوضه‌های بحرانی شهر است که مستعد آب‌گرفتگی و وقوع سیلاب شهری هستند. در این پژوهش از مدل SWMM^۱ برای شبیه‌سازی رواناب سطحی و از روش TOPSIS^۲ برای اولویت‌بندی و تعیین زیرحوضه‌های بحرانی شهر استفاده شد. در نهایت نیز مقایسه‌ای بین این دو روش در تعیین زیرحوضه‌ها و نقاط مستعد آب‌گرفتگی شهر انجام شد.

۱-۱- پیشینه پژوهش

پژوهش‌های زیادی در خصوص روش‌های برآورد رواناب سطحی و کفایت شبکه‌های زهکشی شهری با استفاده از مدل SWMM انجام شده است. سو و همکاران در سال ۲۰۰۰، با شبیه‌سازی طرح بارش ۲۴ ساعته و دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و استفاده از مدل SWMM در مناطق مرکزی شهری در شمال تایوان، طغیان سیل در مجاری فاضلاب شهری را بررسی کردند. نتایج نشان داد مدل SWMM برای تجزیه و تحلیل و سیلاب‌های شبکه فاضلاب مناسب است (Hsu et al., 2000).

چن و همکاران در سال ۲۰۰۹، با ترکیب مدل یک بعدی SWMM و مدل دو بعدی UIM^۳، اقدام به شبیه‌سازی جریان رو سطحی و زیرسطحی و استخراج نقشه آب‌گرفتگی حوضه مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند که با توجه به برابر بودن مقدار بارندگی و ظرفیت کانال، علت آب‌گرفتگی در یک کانال می‌تواند به دلیل تمرکز جریان در یک مدت زمان کوتاه باشد. آنها همچنین بیان کردند که ترکیب یک مدل هیدرولوژیکی با یک مدل هیدرولیکی، می‌تواند نتایج بهتری نسبت به استفاده از یک نوع مدل داشته باشد (Chen et al., 2009).

لاو در سال ۲۰۱۰، مدل SWMM را برای طراحی سیستم فاضلاب زیرزمینی به‌کار گرفت. وی بیان کرد با توجه به اینکه مدل SWMM منحصراً برای تحلیل سیستم فاضلاب شهری به کار می‌رود، اما می‌توان به‌خوبی از آن برای تحلیل و طراحی فاضلاب زیرزمینی نیز استفاده کرد. همچنین نشان داد که پارامترهای موجود

از دیرباز، سیلاب یکی از معضلات اصلی جامعه بشری بوده است. این پدیده سالانه در نقاط مختلف جهان، خسارت‌های جانی و مالی مختلفی را به همراه دارد. از این میان، سیلاب‌های شهری به دلیل اینکه می‌توانند خسارت‌های جبران‌ناپذیر زیادی را نسبت به سایر مناطق به بار آورند، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. وقوع سیل در شهرها، دو نوع است: در نوع اول رودخانه یا زهکش اصلی شهر طغیان نموده و موجب آب‌گرفتگی زمین‌های مجاور می‌شود. در نوع دوم هنگام وقوع رگبارهای شدید، شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی لبریز شده و موجب آب‌گرفتگی معابر شهری می‌شود (Fewtrell et al., 2008). با گسترش شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، سیلاب‌های شهری تشدید می‌شوند. زیرا درصد سطوح نفوذناپذیر افزایش می‌یابد و این امر موجب افزایش حجم رواناب می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت یکی از گسترده‌ترین اثرات توسعه شهری، تغییر در مقدار و شکل جریان حاصل از بارش است و در مقابل، مقدار نفوذ باران به سمت ذخیره عمقی کاهش و در نتیجه حجم و دبی اوج سیلاب افزایش می‌یابد (Chen et al., 2009).

یکی دیگر از معضلاتی که همواره در شهرها و مراکز پرجمعیت جهان و به‌خصوص کشور ما وجود داشته است، آب‌گرفتگی معابر شهری در اثر عدم کفایت شبکه جمع‌آوری رواناب در برابر بارندگی‌های نسبتاً شدید است. آب‌گرفتگی در سطح شهرها اغلب با مشکلاتی همراه است که از جمله آنها می‌توان به تلفات جانی، سیل‌زدگی خیابان‌ها و شبکه‌های حمل و نقل و ایجاد ترافیک سنگین، وارد شدن رواناب به داخل مجاری فاضلاب، وارد شدن فاضلاب شهری به داخل خیابان‌ها، خسارت به اموال عمومی و شخصی، ایجاد اختلال در خدمات مربوط به تأمین آب، فاضلاب و تأمین برق و انرژی، به تأخیر افتادن حمل و نقل عمومی، بالازدگی فاضلاب شهری و ایجاد مشکلات بهداشتی، نیاز به لایروبی خیابان‌ها و تأثیرات منفی بر روی زیبایی شهر اشاره کرد. در دهه‌های اخیر، بحث جمع‌آوری و کاهش رواناب سطحی شهری از اجزای مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری قرار گرفته است. از طرفی با توجه به سرعت رشد مناطق شهری، وجود بافت‌های قدیمی در شهرها، عدم کفایت شبکه زهکشی و جمع‌آوری رواناب سطحی و نبود طرح‌های جامع کنترل سیلاب شهری در اغلب شهرهای ایران، لازم است مطالعات جامعی در این خصوص انجام پذیرد.

¹ Storm Water Management Model (SWMM)

² Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

³ Urban Inundation Model (UIM)



رندال و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی تأثیر استفاده از روش‌های LID بر میزان رواناب شهری و نگهداشت آب باران با استفاده از مدل SWMM پرداختند. هدف آنها از اجرای این روش‌ها ذخیره‌سازی ۸۰ تا ۸۵ درصد آب باران شهر پکن در چین بود. آنها با اجرای سه سناریوی بام سبز، جوی باغچه و روکش نفوذپذیر در دوره بازگشت ۳۵ ساله بارندگی، به این نتیجه رسیدند که با اجرای ۳۰ درصد بام سبز، ۱۰ درصد جوی باغچه و ۳۵ درصد روکش نفوذپذیر، از مساحت کل منطقه، میزان ذخیره آب باران از ۵۹/۹ درصد به ۸۲/۲ درصد افزایش می‌یابد. (Randall et al., 2019)

در اکثر پژوهش‌های ذکر شده، نتایج نشان داده است که مدل SWMM توانایی زیادی در برآورد میزان رواناب سطحی دارد اما این مدل نمی‌تواند به طور همزمان چندین پارامتر تأثیرگذار بر میزان رواناب را بررسی کند و با استفاده از آنها بحرانی‌ترین مناطق را شناسایی کند. لذا لازم است با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۴ بر اساس شاخص‌های تأثیرگذار بر میزان رواناب سطحی شهری، نقاط و زیرحوضه‌های بحرانی را شناسایی و اولویت‌بندی کرد. از مدل‌های تصمیم‌گیری در بسیاری از رشته‌های مهندسی استفاده شده است. از جمله کاربردهای این مدل‌ها در برنامه‌ریزی سیستم جامع منابع آب، مدیریت جامع آبخیز و مدیریت منابع آب است. (Duckstein and Opricovic, 1980, Stewart and Scott, 1995)

لگزیان در سال ۲۰۱۴، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، ۳۲ سناریوی مدیریتی را با استفاده از حالات مختلف وزن‌دهی برای مدیریت رواناب سطحی شهر نیشابور در نظر گرفت و در هر حالت وزن‌دهی، نتایج متفاوتی به دست آورد. (Lagzian, 2014)

ایزانلو و شیخ در سال ۲۰۱۹، به اولویت‌بندی سناریوهای مختلف رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSIS پرداختند. در این پژوهش که در شهر بجنورد و بر اساس حالت‌های مختلف وزن‌دهی انجام شد، ۶ سناریوی مدیریتی رواناب بر اساس سه شاخص هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شد. در نهایت

در مدل SWMM می‌تواند به خوبی برای شبیه‌سازی نفوذ و جریان‌ات درونی، به کار گرفته شوند (Lowe, 2010). زاقلول و موتایری در سال ۲۰۱۰، در پژوهشی که در مناطق شهری کویت انجام دادند، به تخمین رواناب حاصل از بارندگی در این مناطق با استفاده از مدل SWMM پرداختند. آنها برای صحت‌سنجی اجرای شبکه نیز از مدل SWMM استفاده کردند و دریافتند که استفاده از این مدل در طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی، نسبت به استفاده از روش منطقی، نتایج بهتری به همراه دارد (Zaghloul and Al Mutairi, 2010).

تادسچینی و همکاران در سال ۲۰۱۲، در پژوهشی در شمال ایتالیا، به بررسی کارایی حوضچه‌های تأخیری آب باران در شبکه‌های زهکشی شهری پرداختند. آنها از مدل SWMM برای شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب به صورت تک واقعه استفاده کردند. نتایج نشان داد ترکیب حوضچه‌های تأخیری با تنظیم‌کننده‌های جریان، واکنش خوبی را نسبت به آلودگی‌های زیست‌محیطی نشان می‌دهد (Todeschini et al., 2012).

کریمی و همکاران در سال ۲۰۱۵، از مدل EPA-SWMM^۱ برای شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌هایی از حوزه شهری بابل استفاده نمودند. شبیه‌سازی برای رگبارهای دو ساعته با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله و به مدت ۱۲ ساعت، انجام شد. مقدار دبی پیک محاسبه شده با فرمول منطقی، برای ۱۰ نقطه در منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت‌های مذکور با مقدار نظیر شبیه‌سازی شده در مدل، بیانگر وجود همبستگی خطی معنی‌داری بین آنها است (Karimi et al., 2015).

ژو و همکاران در سال ۲۰۱۹، به مطالعه اثربخشی روش‌های توسعه کم اثر^۲، بر روی رواناب سطحی منطقه‌ای در چین پرداختند. آنها برای کالیبره کردن مدل SWMM از ۱۲ بارش در مناطق مسکونی استفاده کردند. آنها برای دستیابی به پارامترهای بهینه روش‌های LID از روش PEST^۳ استفاده کردند که نتایج نشان داد این روش می‌تواند استراتژی‌های مدیریت رواناب را بهینه‌سازی کند (Zhu et al., 2019).

¹ Environmental Protection Agency (EPA)

² Low Impact Development (LID)

³ Parameter Estimation (PEST)

⁴ Multi-attribute Decision



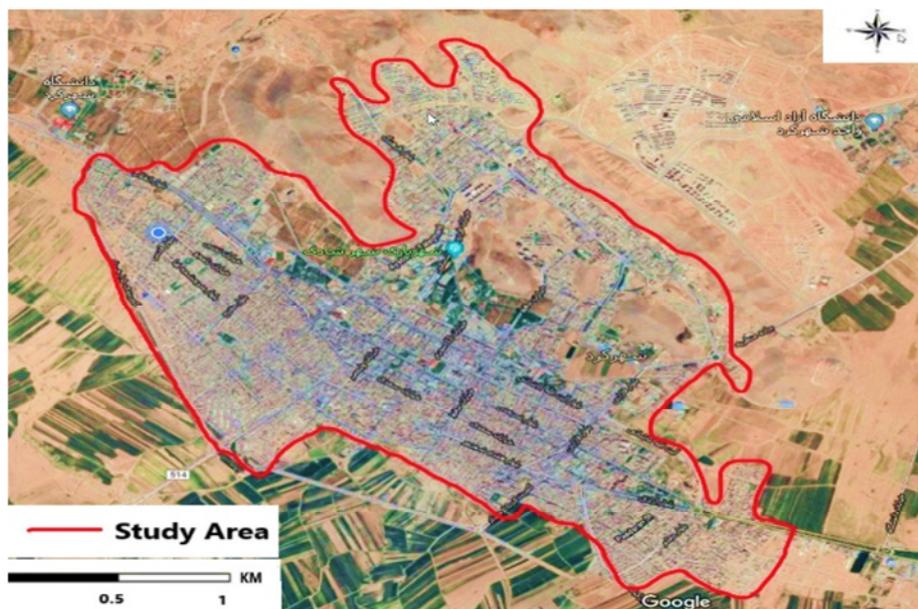


Fig. 1. Location of the study area

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

اقتصادی بر اساس نسبت‌های مختلف وزن‌دهی استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری می‌تواند کمک زیادی به تسریع در امور مدیریت رواناب سطحی کند (Luan et al., 2019).

۱-۲- منطقه مطالعاتی

شهر شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری، در دامنه شرقی رشته‌کوه زاگرس و در جنوب غربی کشور، واقع شده است. طول جغرافیایی شهرکرد بین $50^{\circ} 46' 54''$ تا $50^{\circ} 43' 43''$ و عرض جغرافیایی آن $32^{\circ} 18' 03''$ تا $32^{\circ} 23' 12''$ است. بیشترین ارتفاع در محدوده شهری این شهر، ۲۲۲۰ متر از سطح دریا و مساحت شهر شهرکرد حدود $4756/23$ هکتار برآورد شده است (Ebrahimi, 2019).

در این پژوهش ناحیه شهری شهرکرد از ابتدای کوی شهرداری تا میدان معلم به ۱۱۵ زیرحوضه تقسیم بندی شده است که به‌عنوان محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. موقعیت کامل منطقه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش از دو بخش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تشکیل شده است. در بخش هیدرولوژیکی روابط و منحنی‌های شدت-مدت-

نتایج مختلفی بر اساس حالت‌های مختلف وزن‌دهی به‌دست آمد (Izanloo and Sheikh, 2019).

بابایی و همکاران در سال ۲۰۱۸، به ارزیابی سیستم زهکشی منطقه شهری ارومیه با استفاده از دو روش SWMM و PROMETHEE II پرداختند. آنها پس از تقسیم‌بندی منطقه به ۲۲ زیرحوضه و پس از ارزیابی و کالیبراسیون مدل با استفاده از ۳ واقعه مشاهداتی و معرفی شماره منحنی^۱ به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر در برآورد میزان رواناب سطحی، به این نتیجه رسیدند که در دوره بازگشت ۱۰ ساله برای جلوگیری از جاری شدن سیل در این حوضه باید عمق کانال‌ها حدود ۲۰ درصد افزایش یابد. همچنین نتایج نشان داد هر دو مدل PROMETHEE II و SWMM زیر حوضه‌های یکسانی را به‌عنوان بحرانی‌ترین نواحی معرفی کردند (Babaei et al., 2018).

لوان و همکاران در سال ۲۰۱۹، در مطالعه‌ای در چین، با استفاده از مدل SWMM و روش تصمیم‌گیری چندشاخصه TOPSIS، به ارزیابی استراتژی‌های زیرساخت برخی از روش‌های LID در حوضه‌های شهری پرداختند. آنها در پژوهش خود از ۴ شاخص حجم رواناب، دبی اوج رواناب، آلودگی رواناب و شاخص

¹ Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)

² Curve Number (CN)



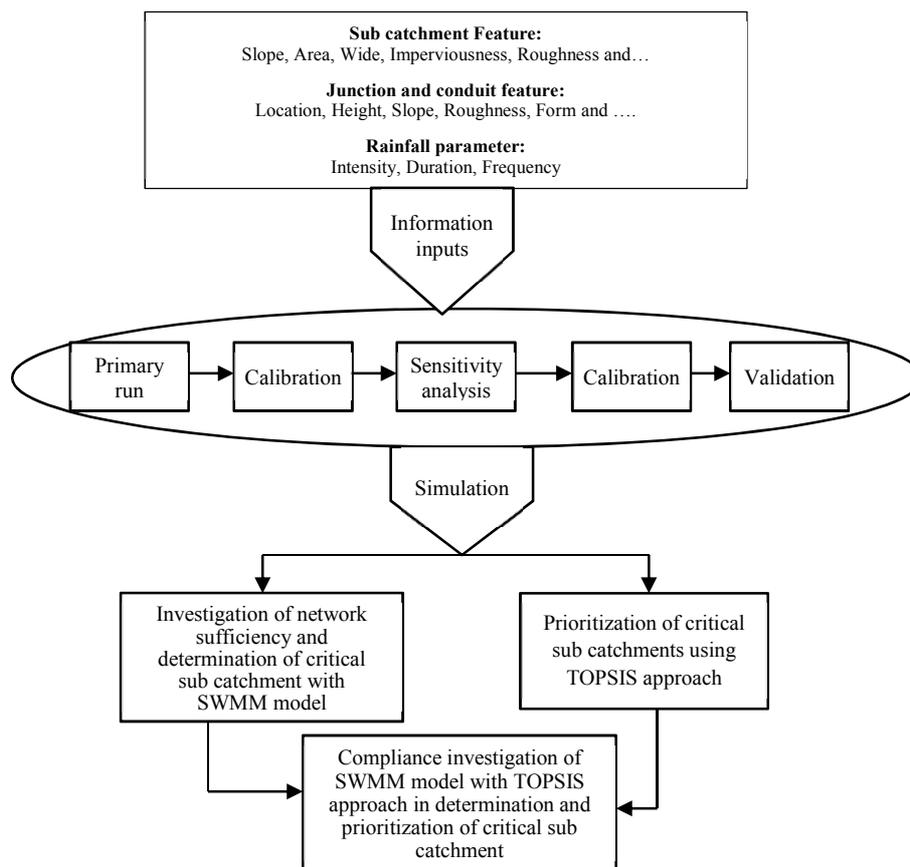


Fig. 2. Research steps

شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

اقدام به تعیین زیرحوضه‌های بحرانی با استفاده از مدل SWMM و روش تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS بر اساس پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب سطحی شهری شد. در شکل ۲، نمایی کلی از مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است.

۲-۱- معرفی مدل SWMM

این مدل در بین سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱، توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ طراحی شده است. این مدل یک شبیه‌ساز دینامیکی بارش- رواناب (تک واقعه و پیوسته) با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌ات زیرسطحی است. در این مدل برآورد موج سیلاب با روش سینماتیک و ترکیب المان‌های جریان‌های روزمینی و کانالیزه شده صورت می‌گیرد. بنابراین مدل دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذناپذیر و نفوذناپذیر و همچنین

فراوانی بارش‌ها استخراج شده و مقدار بارش‌های طرح بر اساس دوره بازگشت مربوطه، تهیه شده‌اند. در بخش هیدرولیکی نیز اطلاعات مربوط به زیرحوضه‌ها شامل مساحت، محیط، عرض معادل، شیب متوسط و درصد مناطق نفوذناپذیر از روی نقشه‌های کاربری اراضی و به کمک نرم‌افزار Civil 3D تهیه شد. همچنین اطلاعات مربوط به ابعاد و جنس و شکل مقطع کانال‌ها نیز توسط بازدیدهای میدانی و به صورت دستی برداشت شد.

پس از این مرحله، شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار SWMM انجام شد. به منظور واسنجی مدل برای دو پارامتر دبی و عمق، به ترتیب از ۲ و ۳ واقعه رگباری استفاده شد و نتایج مشاهداتی با مقدار شبیه‌سازی شده مقایسه شد. پس از انجام آنالیز حساسیت برای ۶ پارامتر مؤثر در میزان رواناب، کالیبراسیون مدل انجام شد و در نهایت مجدداً به منظور اعتبارسنجی مدل برای دو پارامتر دبی و عمق با استفاده از مقدار کالیبره شده، از ۲ واقعه رگباری برای هرکدام استفاده شد. پس از اطمینان از صحت انجام شبیه‌سازی،

¹ United States Environmental Protection Agency (USEPA)



استفاده از نقشه‌های طرح تفصیلی شهر شهرکرد و همچنین نقشه‌های کاربری اراضی، با کمک نرم‌افزار Civil 3D به دست آمد. اطلاعات مربوط به کانال‌ها و ابعاد آنها نیز از طریق نقشه‌های طرح جامع دفع آب‌های سطحی شهر شهرکرد به دست آمد.

لازم به ذکر است به دلیل وجود نواقص در برخی از این داده‌ها، اندازه‌گیری ابعاد برخی از کانال‌ها در شهر، به صورت دستی و از طریق بازدید میدانی انجام شد. در این پژوهش از اثرات ذوب برف و تبخیر، بر میزان رواناب سطحی، چشم‌پوشی شده است. از آنجا که مدل، جریان رواناب را در قالب شبکه زهکشی زیرحوضه‌ها و کلیه مجاری عبور آب شبیه‌سازی می‌کند و در طول مجاری و در محل اتصال کانال‌ها، پروفیل سطح آب را ارائه می‌دهد، می‌توان از این مدل در مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی استفاده کرد (Tsihrintzis and Hamid, 1997).

۲-۲- معرفی روش TOPSIS

این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد (Hwang and Yoon, 1981)

همانند دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، در این روش نیز m گزینه توسط n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نحوه کار این مدل به این صورت است که گزینه‌ای که به عنوان اولویت اول انتخاب می‌شود، باید کمترین فاصله را با بهترین حالت ممکن و بیشترین فاصله را با بدترین حالت ممکن داشته باشد (Momeni, 2006)

مراحل انجام روش TOPSIS به شرح زیر است:

۱- تشکیل ماتریس شاخص‌ها و گزینه‌ها

۲- بی بعد سازی (نرمالایز کردن) ماتریس تشکیل شده (N)

۳- تشکیل ماتریس وزن دهی (W)

۴- تشکیل ماتریس بی بعد وزن دار. برای این منظور تک تک درایه‌های ماتریس مرحله ۲ در تک تک درایه‌های ماتریس ۳ به صورت نظیر به نظیر ضرب می‌شود

$$V = W \times N = \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1n} \times N_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{i1} \times N_{mi} & \dots & W_{in} \times N_{mi} \end{bmatrix} \quad (3)$$

۵- تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی یا به عبارتی بهترین و بدترین مقدار شاخص‌ها V_j^+ و V_j^-

قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوضه به بارندگی اضافی است. بخش هیدرولیکی این مدل، قابلیت روندیابی رواناب تولید شده به سه روش جریان ماندگار، موج سینماتیکی و موج دینامیکی را دارد. روندیابی جریان در کانال‌ها و اتصالات با استفاده از شکل کامل معادلات سنت و نانت^۱ انجام می‌شود که از ترکیب معادلات اندازه حرکت (معادله ۱) و پیوستگی (معادله ۲) برای جریان غیر ماندگار تدریجی به دست می‌آید (Nix, 1994). این معادلات عبارت‌اند از

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA S_f + gA h_i = 0 \quad (2)$$

که در آن

x فاصله از ابتدای مجرا، t زمان، A سطح مقطع جریان، H بار آبی در مجرا، S_f شیب اصطکاکی در مجرا، h_i افت موضعی انرژی در واحد طول مجرا و g شتاب ثقل است.

در این پژوهش، برای مدل‌سازی نفوذ عمقی آب در خاک، با توجه به سهولت و عدم نیاز به داده‌های زیاد، از روش SCS^۲ و CN استفاده شد. لازم به ذکر است که مقدار CN با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و جدول‌های موجود در ASCE^۳ به صورت میانگین وزنی با توجه به مساحت هر نوع کاربری به دست آمده‌اند.

اطلاعات ورودی به نرم‌افزار برای مدل‌سازی به دو دسته اطلاعات هیدرولوژیکی و اطلاعات هیدرولیکی تقسیم می‌شوند. در بخش هیدرولوژیکی، اطلاعات بارش‌های تک واقعه‌ای برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل از طریق داده‌های تهیه شده از اداره هواشناسی شهرکرد و اطلاعات الگوی بارش‌ها، مانند مقدار و نمودارهای شدت-مدت-فراوانی بارش‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف، با استفاده از پژوهش انجام شده توسط صمدی بروجنی و همکاران در سال ۲۰۱۱ به دست آمد (Borujeni et al., 2011).

اطلاعات هیدرولیکی مدل، مانند مشخصات زیرحوضه‌ها از جمله مساحت، شیب، درصد مناطق نفوذناپذیر و توپوگرافی با

¹ Saint Venant

² Soil Conservation Service (SCS)

³ American Society of Civil Engineers (ASCE)



جدول ۱- مقدار شدت- مدت- فراوانی بارش در شهرکرد (میلی متر بر ساعت)

Table 1. Values of intensity-duration-frequency of rainfall in Shahrekord (mm/h)

Return period duration (h)	2 year	5 year	10 year
0.2	17.59	23.66	28.24
0.5	12.11	16.29	19.45
0.75	10.15	13.64	16.29
1	8.92	12	14.33
2	6.50	8.75	10.44
3	5.39	7.25	8.66
4	4.72	6.34	7.57
5	4.25	5.72	6.82
6	3.90	5.25	6.27

ضریب نش - ساتکلیف^۱، ریشه مربعات خطا^۲ و درصد BIAS که به ترتیب در معادلات ۸، ۹ و ۱۰ نمایش داده شده‌اند

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i)^2} \times 100 \quad (10)$$

که در این معادلات

P_i مقدار رواناب شبیه‌سازی شده، O_i مقادیر رواناب مشاهداتی، \bar{O}_i میانگین مقدار رواناب مشاهداتی و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد. درصد BIAS، خطای کل در حجم جریان است و مقدار مثبت و منفی این ضریب، نشانه بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل، نسبت به جریان مشاهداتی است.

به منظور انجام واسنجی مدل، برای پارامتر عمق رواناب از ۲ واقعه رگباری در تاریخ‌های ۱۳۹۸/۷/۱۲ و ۱۳۹۸/۸/۱ در گره‌های ۱۷۴ و ۳۶۲ که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند، استفاده شد که نمودارهای آنها در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است، مقدار شدت بارش در دو واقعه ذکر شده و متناظر با آن نمودارهای عمق رواناب

۶- محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad (4)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad (5)$$

۷- تعیین ضریب نزدیکی نسبی به گزینه ایده‌آل (CL). هرچه این ضریب به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، راهکار ارائه شده به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (6)$$

۸- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس CL بزرگ‌تر.

۲-۳- مقدار شدت- مدت- فراوانی بارش‌ها

مقدار و نمودارهای شدت- مدت- فراوانی بارش‌ها در شهر شهرکرد با استفاده از معادله ۷ که توسط صمدی بروجنی و همکاران در سال ۲۰۱۱ ارائه شده است، بر حسب میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله و نیز بر حسب مدت تداوم آنها به‌دست آمد که در جدول ۱ و شکل ۳ آورده شده‌اند (Borujeni et al., 2011)

$$I_{D,T} = \frac{6.746 + 3.43 \ln T}{(D + 0.049)^{0.472}} \quad (7)$$

که در آن $I_{D,T}$ شدت رگبار بر حسب میلی‌متر بر ساعت و T دوره بازگشت بر حسب سال و D تداوم رگبار بر حسب ساعت است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج واسنجی مدل

به منظور بررسی انطباق و مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی با هیدروگراف‌های شبیه‌سازی کالیبره شده، لازم است تا از چند تابع آمار و احتمالاتی استفاده شود. برخی از رایج‌ترین این توابع که در مطالعات هیدرولوژی شهری استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از:

¹ Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

² Root Mean Squares Error (RMSE)



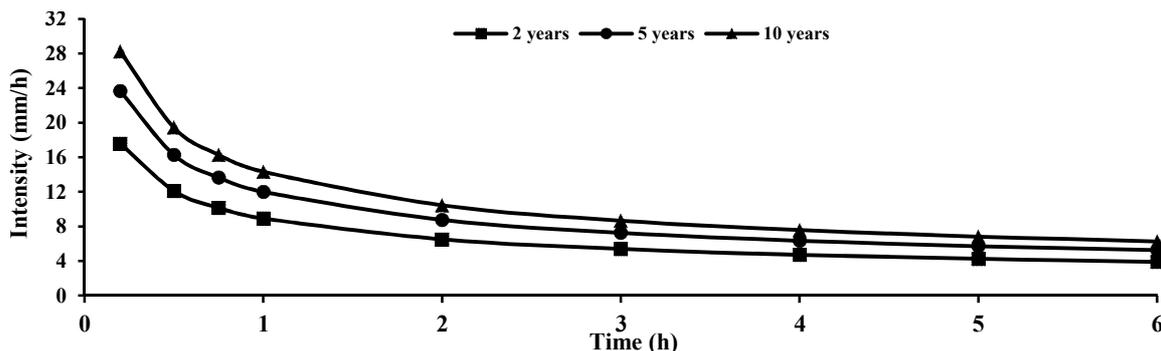


Fig. 3. Curves of intensity-duration-frequency of rainfall in Shahrekord station

شکل ۳- منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی بارش ایستگاه شهرکرد

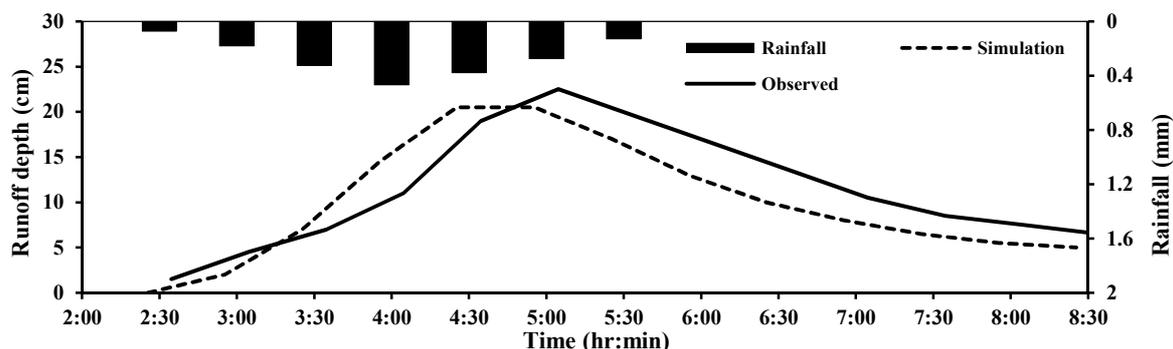


Fig. 4. Diagram of observed and simulated runoff depth at node 174 on 4 October 2019

شکل ۴- نمودار عمق رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گره ۱۷۴ در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۱۲

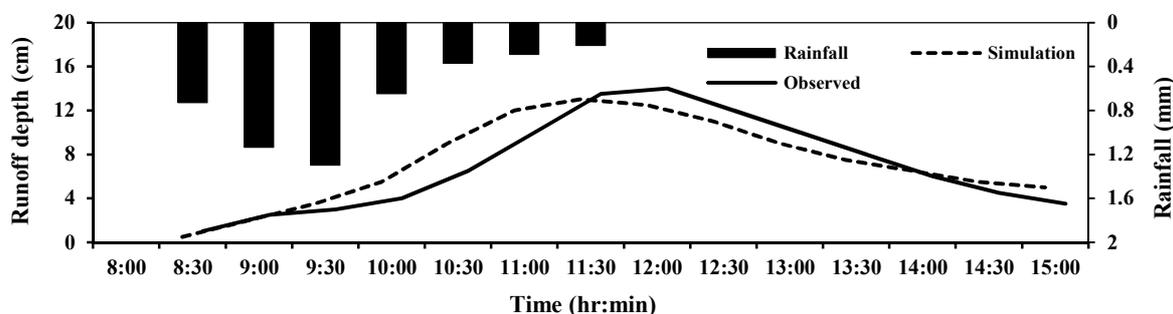


Fig. 5. Diagram of observed and simulated runoff depth at node 362 on 23 October 2019

شکل ۵- نمودار عمق رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گره ۳۶۲ در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۱

به دلیل ابعاد مختلف کانال‌ها و متناظر با مقدار بارش انجام شده در دو گره برداشت شده متفاوت است.

۲-۳- آنالیز حساسیت

شاخص‌های N-impervious (ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر)، N-pervious (ضریب زبری مناطق نفوذپذیر)، Ds tore impervious (ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر)، Ds tore pervious (ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر)، عرض معادل (W) و

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طی زمان نمایش داده شده‌اند. نمودار شبیه‌سازی تطابق نسبتاً خوبی را با نمودار مشاهداتی ایجاد کرده است و بنابراین نتایج این واسنجی قابل قبول معرفی می‌شود. همان‌گونه که در نمودارها نیز مشخص است، پس از پایان زمان بارندگی، جریان درون کانال‌ها ادامه دارد و چندین ساعت پس از اتمام بارش نیز در گره‌های ذکر شده همچنان رواناب وجود دارد و عملیات واسنجی تا چندین ساعت پس از پایان بارندگی نیز ادامه پیدا کرده است. همچنین، بیشینه عمق رواناب در هر دو کانال



پس از انجام واسنجی و همچنین انجام آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای ضریب زبری و ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، W و CN، کالیبراسیون بر روی پارامترهای ذکر شده انجام شد و در نهایت صحت‌سنجی با پارامترهای بهینه انجام شد.

۳-۳- نتایج صحت‌سنجی

پس از انجام مرحله واسنجی و انجام عملیات کالیبراسیون بر روی پارامترهای حساس مدل، در ۲ رویداد ۱۳۹۸/۸/۴ و ۱۳۹۸/۸/۷، صحت‌سنجی بر روی پارامتر عمق رواناب با استفاده از مقدار بهینه حساس مدل SWMM انجام شد که نمودارهای آن در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است. در نهایت به منظور برآورد میزان شاخص‌های کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب سطحی این پژوهش در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی از معادلات ۵ تا ۷ استفاده شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقدار شاخص‌های کارایی مدل SWMM برای پارامتر عمق

Table 2. Values of SWMM model performance indicators for depth parameter

Rainfall events	Stage	NSE	RMSE (m)	BIAS (%)
4 October 2019	Calibration	0.843	2.632	4.108
October 23 2019	Calibration	0.898	1.390	3.053
October 26 2019	Validation	0.937	1.155	1.456
October 29 2019	Validation	0.973	1.673	2.704

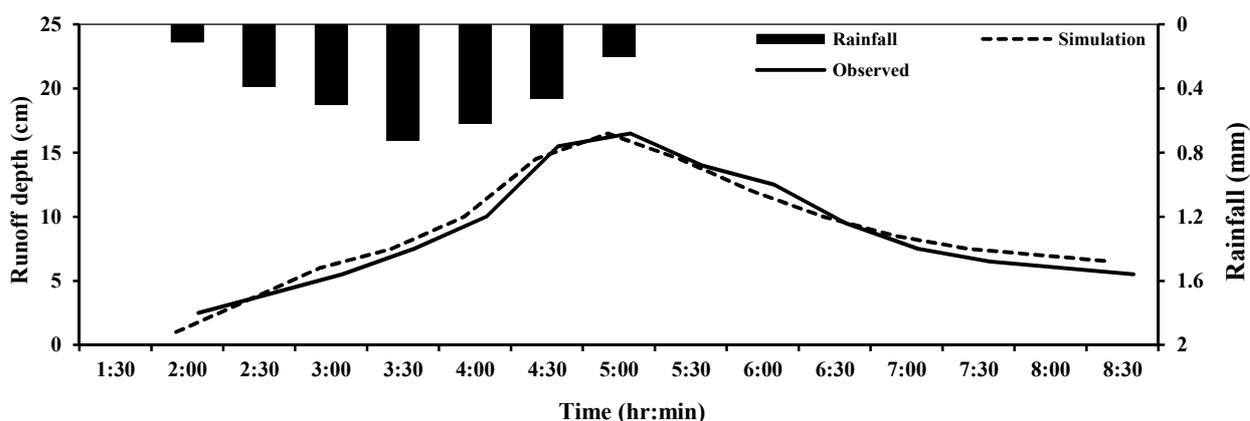


Fig. 7. Diagram of observed and simulated runoff depth at node 174 on 26 October 2019

شکل ۷- نمودار عمق رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گره ۱۷۴ در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۴

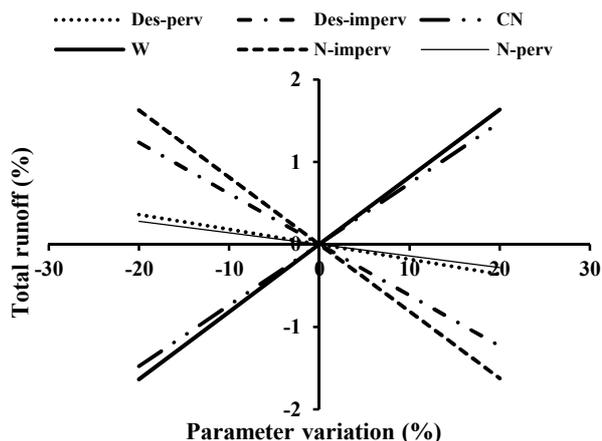


Fig. 6. Sensitivity analysis chart of effective parameter on runoff rate

شکل ۶- نمودار آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر میزان رواناب

CN بررسی و تحلیل آنالیز حساسیت شدند که نمودار آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

بر اساس شکل ۶ مشخص می‌شود که دو پارامتر W و CN دارای نسبت مستقیم با میزان رواناب هستند. به طوری که با افزایش این دو شاخص، میزان رواناب نیز افزایش پیدا می‌کند. در مقابل سایر پارامترها با میزان رواناب رابطه معکوس داشته است و با افزایش آنها، حجم رواناب کاهش می‌یابد.

همچنین در میان شاخص‌های ذکر شده، عرض معادل دارای بیشترین میزان حساسیت بود به طوری که با افزایش ۲۰ درصدی آن در تمام زیرحوضه‌ها، حجم رواناب کل حوضه ۱/۶۳۶ درصد افزایش یافت.



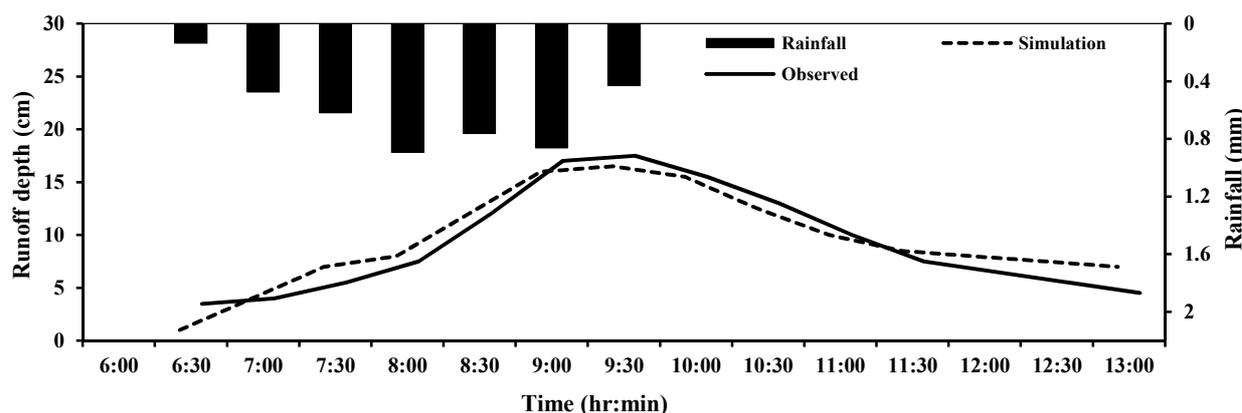


Fig. 8. Diagram of observed and simulated runoff depth at node 362 on 29 October 2019

شکل ۸- نمودار عمق رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گره ۱۷۴ در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۷

جدول ۳- مقدار حجم رواناب زیرحوضه‌ها برای دوره بازگشت‌های

۵، ۲ و ۱۰ ساله

Table 3. Runoff volume values of sub-catchment for 2, 5 and 10 year return periods

Sub catchment	Total runoff volume ($\times 10^6$ liter)		
	2 year	5 year	10 year
20	7.05	9.75	11.79
90	6.70	9.27	11.23
25	6.35	8.72	10.39
39	6.34	8.66	10.51
99	4.99	6.95	8.45
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
12	0.24	0.36	0.46
60	0.19	0.60	1.01
95	0.09	0.41	0.75

میزان رواناب تولیدی بیشتری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها هستند. با بررسی کانال‌های موجود در شهر مشخص شد که در دوره بازگشت‌های ۵، ۲ و ۱۰ ساله به ترتیب ۱۹/۴، ۲۰/۶۸ و ۲۱/۵۲ درصد کانال‌های شهر دچار بالازدگی شده‌اند و لذا شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی کفایت لازم را برای عبور رواناب سطحی ندارد. در شکل ۱۰ کانال‌هایی که در دوره بازگشت بارندگی ۱۰ ساله دچار بالازدگی شده‌اند، نشان داده شده است.

موقعیت کانال‌های سیلابی نشان می‌دهد که این کانال‌ها اغلب در مناطق جنوبی شهر و خیابان‌های منتهی به کانال خروجی جنوبی شهر که در امتداد شرقی-غربی قرار گرفته است، واقع شده‌اند. علاوه

بر اساس نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که مقدار ضریب NSE در مرحله واسنجی بیشتر از ۰/۸۴ و پس از کالیبراسیون مدل و در مرحله صحت سنجی بیشتر از ۰/۹۳ به دست آمده است. اگر مقدار ضریب NSE بیشتر از ۰/۵ باشد نتایج قابل قبول است. همچنین بهترین مقدار این ضریب ۱ است و هرچه مقدار به دست آمده به این عدد نزدیک‌تر باشند، دقت شبیه‌سازی بیشتر است.

۳-۴- نتایج مدل SWMM

پس از اطمینان از صحت انجام شبیه‌سازی به تعیین زیرحوضه‌های بحرانی به دست آمده توسط مدل SWMM بر اساس میزان حجم کل رواناب، در دوره بازگشت‌های ۵، ۲ و ۱۰ ساله پرداخته شد که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که زیرحوضه‌های ۲۰، ۹۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۹ در دوره بازگشت‌های ۵، ۲ و ۱۰ ساله دارای بیشترین حجم رواناب هستند. از طرفی دیگر زیرحوضه‌های ۱۲، ۶۰ و ۹۵ نیز به تناوب دارای کمترین میزان حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف هستند. در شکل ۹ نمایی از زیرحوضه‌های بحرانی شهر نشان داده شده است.

با مشاهده مکان قرارگیری زیرحوضه‌های بحرانی که اکثراً در مناطق جنوبی شهر واقع شده‌اند، می‌توان دریافت که این زیرحوضه‌ها به دلیل داشتن مساحت نسبتاً زیاد، شیب کم، بافت مسکونی و تجاری متراکم، کمبود فضای سبز و داشتن درصد مناطق نفوذناپذیر، که عامل آخر موجب افزایش CN می‌شود، دارای



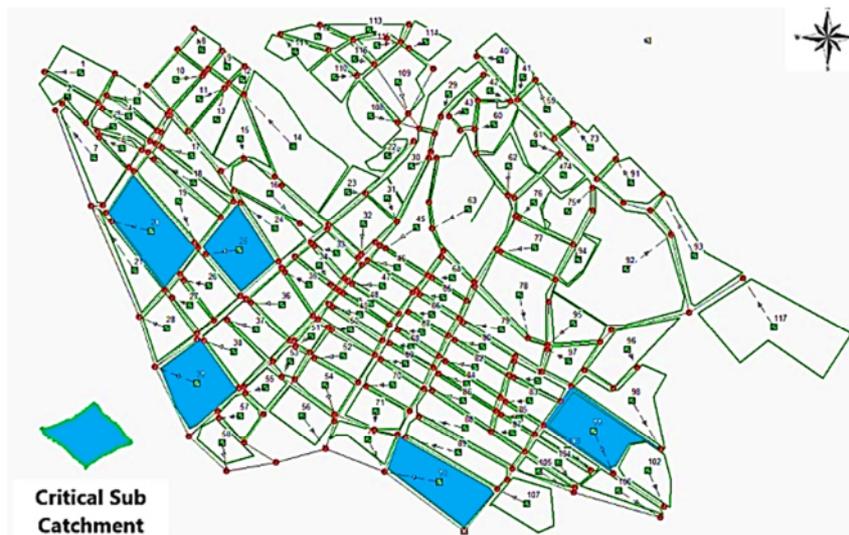


Fig. 9. Location of the most critical sub catchment

شکل ۹- موقعیت بحرانی ترین زیرحوضه ها

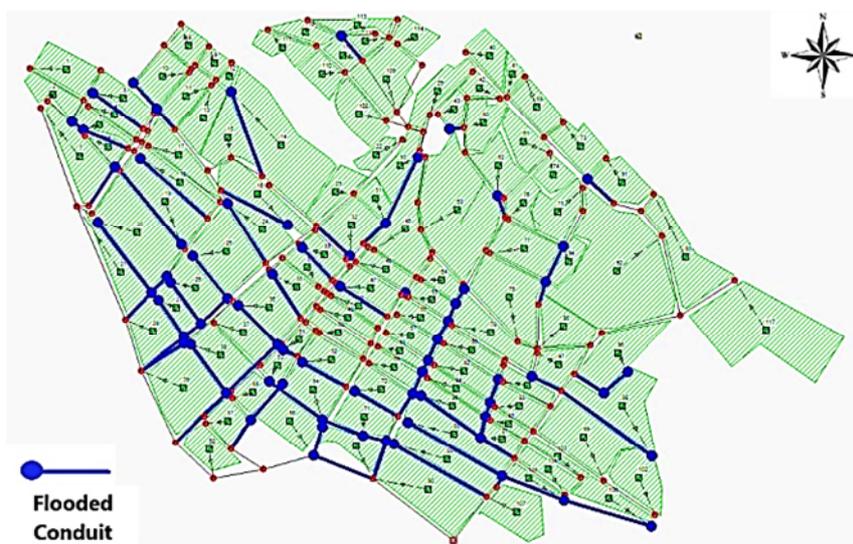


Fig. 10. Network status, flooded canals and flooded junction of the Shahrekord city during the 10 year return period

شکل ۱۰- وضعیت شبکه، کانال های سیلابی و نقاط آب گرفتگی شهر شهرکرد در دوره بازگشت ۱۰ ساله

TOPSIS نیز استفاده شد. برای اولویت بندی زیرحوضه ها لازم است تا ابتدا به پارامترهای حساس و تأثیرگذار بر میزان رواناب کل هر زیرحوضه، نسبت های وزنی داده شود. سپس طبق مراحل ۸ گانه ذکر شده در قبل، با استفاده از روش TOPSIS به اولویت بندی زیرحوضه های بحرانی پرداخته شد.

بر اساس نتایج جدول ۴، مشاهده می شود که پارامترهای Peak runoff و Area به ترتیب دارای بیشترین مقدار وزنی و در نتیجه

بر عوامل مؤثر بر افزایش میزان رواناب که ذکر شد، عدم کفایت شبکه جمع آوری رواناب سطحی در این مناطق نیز، موجب انسداد و بالازدگی کانال ها شده است.

۳-۵- نتایج روش TOPSIS

به منظور اولویت بندی و تعیین دقیق بحرانی ترین زیرحوضه ها، علاوه بر مدل SWMM، از روش تصمیم گیری چند شاخصه



۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، شبیه‌سازی رواناب سطحی شهر شهرکرد در دوره بازگشت‌های بارندگی ۲، ۵ و ۱۰ ساله انجام شد. واسنجی مدل بر روی پارامتر عمق در دو کانال و گره تصادفی انجام شد که مقدار ضریب NSE، در ۲ رویداد بارشی، ۰/۸۴۳ و ۰/۸۹۸ به دست آمد. پس از انجام آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب سطحی، در منطقه شهری شهرکرد، مشخص شد که پارامتر عرض معادل، حساس‌ترین پارامتر در میزان حجم رواناب کل است. پس از شناخت پارامترهای حساس مدل و یافتن نسبت مستقیم یا غیر مستقیم آنها بر میزان حجم رواناب تولیدی، اقدام به کالیبراسیون مدل بر اساس این مقدار بهینه شد. سرانجام با استفاده از مقدار کالیبره شده، صحت‌سنجی مدل در ۲ رویداد بارشی دیگر انجام شد که مقدار ضریب NSE در این مرحله، ۰/۹۳۷ و ۰/۹۷۳ به دست آمدند که نشان از دقت زیاد انجام مدل‌سازی دارد.

نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل SWMM نشان داد که در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب در ۱۹/۴، ۲۰/۶۸ و ۲۱/۵۲ درصد کانال‌های شهر، گرفتگی و بالازدگی رخ داده است و لذا شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی، کفایت لازم را ندارد. همچنین، مشخص شد که زیرحوضه‌های ۲۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۹، به ترتیب ۵ زیرحوضه‌ای هستند که دارای بیشترین مقدار رواناب تولیدی هستند و شرایط بحرانی دارند. سپس به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی و ارزیابی نتایج مدل SWMM در تعیین زیرحوضه‌های بحرانی، از روش TOPSIS استفاده شد. نتایج این روش نشان داد زیرحوضه‌های ۹۲، ۲۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۰ به ترتیب دارای بیشترین رواناب تولیدی هستند و شرایط بحرانی تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارند. موقعیت کانال‌های سیلابی نشان می‌دهد که این کانال‌ها اغلب در مناطق جنوبی شهر واقع شده‌اند. در این مناطق به دلیل وجود شیب کم و تراکم زیاد مسکونی و تجاری و کمبود فضای سبز، میزان رواناب تولیدی بیش از سایر مناطق است. علاوه بر عوامل ذکر شده، عدم کفایت شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی در این مناطق نیز موجب انسداد و بالازدگی کانال‌ها شده است. مقایسه نتایج مدل SWMM و TOPSIS نشان داد که روش TOPSIS دقت نسبتاً خوبی در تعیین زیرحوضه‌های بحرانی که رواناب آنها منجر به آب‌گرفتگی کانال‌ها می‌شود، دارد به طوری که ۸۰ درصد زیرحوضه‌های انتخاب شده توسط این روش، با نتایج

بیشترین تأثیر را در میزان رواناب تولیدی زیرحوضه‌ها دارند. همچنین، عدد CN، کمترین نسبت وزنی را دارد.

پس از تعیین وزن شاخص‌های تأثیرگذار در میزان رواناب تولیدی هر زیرحوضه و با استفاده از روش TOPSIS، به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس میزان روانابی که در اثر بارندگی تولید می‌کنند، پرداخته شد که نتایج آن در جدول ۵ قابل مشاهده است.

بر اساس نتایج جدول ۵ که با استفاده از روش TOPSIS به دست آمده‌اند، زیرحوضه‌های ۹۲، ۲۰، ۲۵، ۳۹ و ۹۰ دارای بیشترین میزان رواناب هستند. همچنین بر اساس این روش، زیرحوضه‌های ۳، ۶۰ و ۹۵ دارای کمترین میزان رواناب تولیدی هستند. با مقایسه نتایج به دست آمده از مدل SWMM و روش TOPSIS، نتیجه گرفته می‌شود که تطابق این دو مدل در تعیین زیرحوضه‌های بحرانی که منجر به وقوع سیلاب می‌شوند، حدود ۸۰ درصد است.

جدول ۴- وزن پارامترهای مورد استفاده در روش

Table 4. Weight of the parameters used in the TOPSIS method

Variable	Weight
Slope	0.1428
CN	0.0231
Peak runoff	0.3333
Imperviousness	0.2453
Area	0.2555

جدول ۵- رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس پتانسیل رواناب تولیدی با

استفاده از روش TOPSIS

Table 5. Ranking of sub-catchment potential in producing surface runoff using TOPSIS method

Rank	Sub-catchment	d_i^-	d_i^+	CL_i
1	92	0.0155	0.0045	0.7761
2	20	0.0101	0.0102	0.4964
3	25	0.0103	0.0104	0.4963
4	39	0.0094	0.0108	0.4636
5	90	0.0091	0.0106	0.4605
.
.
.
113	95	0.0023	0.0155	0.1288
114	60	0.0023	0.0156	0.1270
115	3	0.0022	0.0155	0.1229



در منشأ، همچون استفاده از روش‌های LID، مقدار حجم و دبی اوج رواناب را در پایین دست کاهش داد یا کنترل کرد تا احتمال وقوع آب‌گرفتگی و یا رخ دادن سیلاب‌های شهری به حداقل برسد.

۵- قدردانی

در پایان از همکاری مهندس امید دانا، کارشناس GIS و اطلاعات جغرافیایی اداره آب و فاضلاب شهرستان شهرکرد، نهایت تشکر را داریم.

مدل SWMM تطابق دارد. از این‌رو نتیجه گرفته می‌شود که با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و با در نظر گرفتن سایر عواملی که مدل SWMM قادر به محاسبه آنها نیست، می‌توان دقت مدل SWMM را در تعیین و اولویت‌بندی مناطق مستعد وقوع سیل در مناطق شهری افزایش داد.

بحث شناسایی مناطق و کانال‌های مستعد آب‌گرفتگی، یکی از بحث‌های ضروری و پراهمیت در مناطق شهری است زیرا پس از شناخت این مناطق می‌توان با روش‌های مدیریتی و کنترل رواناب

References

- 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.
- Borujeni, H. S., Emad, K. & Fattahi, R. 2011. Evaluation of analysis methods of short-term rainfall (case study: Shahrekord synoptic station). *Journal of Water Science and Engineering*, 1, 7-21. (In Persian)
- Chen, J., Hill, A. A. & Urbano, L. D. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 373, 184-192.
- Duckstein, L. & Opricovic, S. 1980. Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resources Research*, 16, 14-20.
- Ebrahimi, A. & Kiani Salmi, E. 2019. Assessing the impact of urban expansion and land cover changes on land surface temperature in Shahrekord city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9 (4), 102-118. (In Persian)
- Fewtrell, T., Bates, P. D., Horritt, M. & Hunter, N. 2008. Evaluating the effect of scale in flood inundation modelling in urban environments. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22, 5107-5118.
- Hsu, M. H., Chen, S. H. & Chang, T. J. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology*, 234, 21-37.
- Hwang, C.-L. & Yoon, K. 1981. *Methods for multiple attribute decision making. in multiple attribute decision making*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Izanloo, R. & Sheikh, V. 2019. Prioritization of surface runoff management scenarios using TOPSIS method in different weighting conditions (case study: Bojnord city). *Journal of Water and Wastewater*, 29 (6), 15-26. (In Persian)
- Karimi, V., Solaimani, K., Roshan, M. H. & Shahedi, K. 2015. Simulation of flow in open & closed conduits by EPA-SWMM model (case study: Babolsar urban watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 6, 162-170. (In Persian)
- Lagzian, R. 2014. Identifying and prioritizing surface runoff management scenarios using multi-criteria decision making techniques for Neishabour city. MSc Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)



- Lowe, S. A. 2010. Sanitary sewer design using EPA storm water management model (SWMM). *Computer Applications in Engineering Education*, 18, 203-212.
- Luan, B., Yin, R., Xu, P., Wang, X., Yang, X., Zhang, L., et al. 2019. Evaluating green stormwater infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 223, 680-691.
- Momeni, M. 2006. *New topics in operations research*. Tehran Management School Publications, Tehran, Iran. (In Persian)
- Nix, S. J. 1994. *Urban stormwater modeling and simulation*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- Randall, M., Sun, F., Zhang, Y. & Jensen, M. B. 2019. Evaluating Sponge city volume capture ratio at the catchment scale using SWMM. *Journal of Environmental Management*, 246, 745-757.
- Stewart, T. J. & Scott, L. 1995. A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water resources planning. *Water Resources Research*, 31, 2835-2843.
- Todeschini, S., Papiri, S. & Ciaponi, C. 2012. Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy. *Journal of Environmental Management*, 101, 33-45.
- Tsihrintzis, V. A. & Hamid, R. 1997. Modeling and management of urban stormwater runoff quality: a review. *Water Resources Management*, 11, 136-164.
- Zaghloul, N. & Al Mutairi, B. 2010. Water harvesting of urban runoff in Kuwait. *Journal of Transaction A Civil Engineering, Sharif University of Technology*, 17, 236-243.
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X. & Yu, G. 2019. An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of Environmental Management*, 231, 504-514.

