Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 3, Autumn 2020

Determining Quantitative-Qualitative Parameters of Shushtar City Runoff Model Using SWMM Calibration

Behzad Jamshidi
Ph.D. student, Department of Environmental Health Engineering, student research committee, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
Department of Environmental Health Engineering, Petroleum Industry Health Organization, NIOC, Ahvaz, Iran

Yaser Tahmasebi Birgani
* Assistant Professor in Department of Environmental Health Engineering, Environmental Technologies Research Center (ETRC), Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. (Corresponding author):
E-mail address: tahmasebiyaser@gmail.com

Mohammad Jafarpour
MSc., of Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

NadAli Alavi Bakhtiarvand
Professor of Department of Environmental Health Engineering, Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Ali Akbar Babaei
Associate Professor in Department of Environmental Health Engineering, Environmental Technologies Research Center (ETRC), Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Ali Haghighi
Professor of Civil Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Gholamreza Goudarzi
Associate Professor in Department of Environmental Health Engineering, Air Pollution and Respiratory Diseases Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Received: 2020/09/20
Accepted: 2020/10/19

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Increasing population and urbanization density and as a result, increasing impermeable surfaces, has led to an increase in the volume of urban runoff. Applying simulation models is a suitable way to know the runoff quality parameters. This study aimed at evaluating the quality of urban runoff in Shushtar city using the Storm Water Management Model (SWMM).
Materials and Methods: Two given rainfall events in 2016 were considered for calibration and validation of the model. The parameters related to the first rainfall event were measured at the outlet of the urban drainage system. The quantitative and qualitative calibration of the model was performed using the data of the first rainfall and model validation was performed using the data of the second rainfall.
Results: In the hydraulic calibration, the mean values of impermeability, slope, catchment width, and Manning's coefficient were estimated to be 50%, 75%, 25 m, and 0.013, respectively. In the qualitative calibration, the coefficients of the Build-up equations for TSS, COD, and Zn were equal to 95-25, 48-1, and 1-0.09, respectively. The coefficients of Wash-off equations for TSS, COD, and Zn were estimated at 0.21- 0.8, 0.2-0.8, and 0.19-0.78, respectively.
Conclusion: The results showed that the accurate calibration of the model enhances the ability of the model to estimate the quantitative and qualitative parameters in future rainfall events for the study area. According to the results, modeling is a powerful tool that can be very useful to improve runoff management.

Keywords: Urban Runoff; Water Quality Parameters; Build-up and Wash-off Coefficients; SWMM Model

▶ **Citation:** Jamshidi B, Tahmasebi Birgani Y, Jafarpour M, Alavi Bakhtiarvand NA, Babaei AA, Haghighi A, Goudarzi Gh. Determining Quantitative-Qualitative Parameters of Shushtar City Runoff Model Using SWMM Calibration. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2020; 6(3): 239-249.

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین پارامترهای مدل کمّی– کیفی رواناب شهر شوشتر با استفاده از واسنجی مدل SWMM

بهزاد جمشیدی
دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
گروه مهندسی بهداشت محیط، سازمان بهداشت و درمان صنعت نفت (NIOC)، اهواز، ایران.

یاسر طهماسبی بیرگانی
* استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.(نویسنده مسئول): پست الکترونیک:
tahmasebiyaser@gmail.com

محمد جعفرپور
کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

ناد علی علوی بختیاروند
استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان‌آور محیط و کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

علی‌اکبر بابایی
دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

علی حقیقی
استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

غلامرضا گودرزی
دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹
نوع مقاله: مقاله اصیل پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: افزایش روزافزون جمعیت و تراکم شهرنشینی و در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر، منجر به افزایش حجم رواناب‌های شهری شده است. رخداد بارش‌ها باعث تغییر در کیفیت رواناب و ورود آلاینده‌ها می‌گردد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، راهی مناسب برای آگاهی از میزان پارامترهای کیفی رواناب می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی کیفیت رواناب‌های شهر شوشتر و تعیین ضرایب هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWMM (مدل مدیریت رواناب شهری) انجام شد.
مواد و روش‌ها: دو واقعه بارش شهر شوشتر در سال ۱۳۹۵ برای انجام فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد و پارامترهای مرتبط با واقعه بارش اول در نقطه خروجی سیستم جمع‌آوری رواناب اندازه‌گیری شد. واسنجی کمّی و کیفی مدل با استفاده از بارش اول و اعتبارسنجی مدل با استفاده از بارش دوم انجام گردید.
یافته‌ها: در واسنجی بخش هیدرولیکی، مقادیر میانگین نفوذناپذیری، شیب، عرض زبرحوضه و ضریب مانینگ به‌ترتیب ۵۰٪، ۷۵٪، ۲۵ متر و ۰/۰۱۳ تخمین زده شدند. در بخش کیفی نیز ضرایب معادلات تجمعی (Build-up) برای کل جامدات معلق (TSS)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و فلز روی (Zn) به‌ترتیب (۹۵، ۲۵)، (۴۸، ۱) و (۱ ، ۰/۰۹) و ضرایب معادلات شستشو (Wash-off) برای این پارامترها به‌ترتیب (۰/۲۱، ۰/۸)، (۰/۲، ۰/۸) و (۰/۱۹، ۰/۷۸) تخمین زده شدند.
نتیجه‌گیری: واسنجی دقیق مدل، توانایی مدل را در پیش‌بینی پارامترهای کمّی و کیفی در بارش‌های بعدی برای منطقه مورد مطالعه افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج، مدل‌سازی ابزاری قدرتمند جهت بهبود مدیریت رواناب می‌باشد.

کلید واژه‌ها: پارامترهای کیفیت آب، رواناب شهری، ضرایب Build-up و Wash-off، مدل SWMM

◀ **استناد:** جمشیدی ب، طهماسبی بیرگانی ی، جعفرپور م، علوی بختیاروند ن ع، بابایی ع، حقیقی ع، گودرزی غ. تعیین پارامترهای مدل کمّی- کیفی رواناب شهر شوشتر با استفاده از واسنجی مدل SWMM. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۹؛۶ (۳): ۲۳۹-۲۴۹.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و رشد شهرنشینی باعث تبدیل زمین‌های طبیعی به مناطق شهری و مسکونی و در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر و کاهش نفوذ آب به داخل خاک می‌شود که منجر به حجم بیشتر رواناب شهری می‌شود (۱-۳). همچنین افزایش آلودگی هوای ناشی وجود ریزگردها و زباله‌های شهری ناشی از فعالیت‌های انسانی باعث انباشت آلاینده‌ها در سطوح و تغییر در کیفیت رواناب در هنگام وقوع بارندگی خواهند شد (۴-۶). برآیند دو عامل تغییر در الگوهای هیدرولوژی و افزایش نرخ تجمع بارِ آلودگی، سبب ایجاد سطح زیان‌باری از آلودگی در رواناب شهری می‌شود (۷).

بر اساس مطالعات انجام شده، رواناب شهری به‌عنوان یکی از منابع عمده آلودگی‌های آب‌های سطحی معرفی شده است؛ به‌گونه‌ای که تاکنون بیش از ۶۰۰۰ آلاینده مانند فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، مواد مغذی و مواد سمی در رواناب شناسایی شده‌اند (۸-۱۰). همچنین کل جامدات معلق (TSS) [1] به‌عنوان یک شاخص اولیه برای سنجش آلودگی رواناب به فلزات سنگین و مواد مغذی در نظر گرفته می‌شود و از آن در مدل‌سازی رواناب استفاده می‌شود. این امر به این دلیل است که بخش بزرگی از آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین و مواد مغذی بر روی ذرات معلق می‌نشینند و به همراه ذرات معلق به منابع آب‌های پذیرنده منتقل می‌شوند. بنابراین پیش‌بینی و شبیه‌سازی دقیق کیفیت رواناب ناشی از بارش به‌خصوص در شهرها ضروری می‌باشد (۱۱).

تاکنون مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رواناب‌های شهری مانند مدل مدیریت رواناب شهری (SWMM) [2]، مدل زهکشی شهری و قاضلاب (MOUSE) [3] و مدل مفهومی رواناب شهری (MUSIC) [4] در سراسر جهان توسعه داده شده‌اند که محققین توسط آنها بین بارش و رواناب ناشی از بارش از نظر کمّی و کیفی رابطه دقیق و منطقی برقرار می‌نمایند. مدل SWMM یکی از این مدل‌هاست که در این زمینه دقت قابل قبولی دارد که علاوه بر مدل‌سازی روابط هیدرولوژیکی، توانایی خوبی در مدل‌سازی آلاینده‌های موجود در رواناب را نیز دارد (۱۲، ۱۳). این مدل بین سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۷۱ توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) [5] برای شبیه‌سازی کمّی و کیفی پدیده‌های مرتبط با سیلاب‌ها توسعه پیدا کرد. SWMM یک مدل دینامیک شبیه‌سازی بارش و رواناب است و می‌تواند برای یک واقعه بارش یا به‌صورت بلندمدت، کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی نماید. همچنین این قابلیت را دارد تا با سایر مدل‌ها ترکیب شود و در حوضه‌های کوچک نیز نتایج قابل قبولی را نیز ارائه دهد (۱۴). این مدل همچنین می‌تواند تولید بارِ آلودگی مرتبط با این رواناب‌ها را تخمین بزند. از میان روش‌های مختلف برای برآورد آلاینده‌ها، روش تجمعی [6] و روش شستشو [7] استفاده می‌شود. علاوه بر این، هنگامی که داده‌های کافی در مورد کیفیت رواناب در دسترس نیست، می‌توان واسنجی مدل را برای آن منطقه انجام داد (۱۵).

با وجود مطالعات بسیاری که برای شبیه‌سازی کیفیت رواناب شهری در مناطق مختلف جهان انجام شده است (۱۶-۲۱)، اما مطالعات کمی برای واسنجی مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت رواناب در ایران انجام شده است، لذا مطالعه حاضر با هدف تعیین پارامترهای کمیت و کیفیت رواناب توسط مدل SWMM در شهر شوشتر انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در شهر شوشتر که در ۹۲ کیلومتری شهر اهواز، مرکز استان خوزستان واقع شده است، انجام شد. شوشتر شهری باستانی

1. Total Suspended Solid
2. Storm Water Management Model
3. Urban Drainage and Sewer Model
4. Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization
5. U.S. Environmental Protection Agency
6. build-up
7. wash-off

www.SID.ir

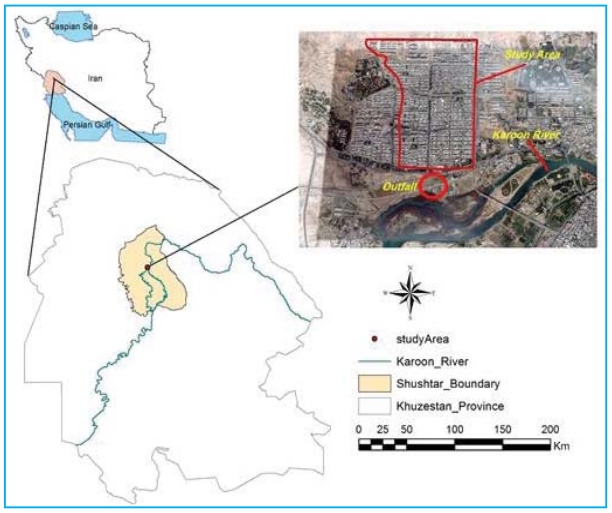
Archive of SID

با مختصات جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ در جنوب غربی ایران با ۳۲۲ میلی‌متر میانگین بارندگی سالانه است، اما تقریباً بیشترین ریزش جوی محدود به دوره آذر ماه تا فروردین ماه (نوامبر تا آوریل) می‌باشد. مدل‌سازی بر روی یک بخش از شهر شوشتر با مساحت تقریبی ۳ کیلومتر مربع انجام گرفت. این منطقه در محدوده طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳/۷۹ ثانیه و ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۸/۶ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ۱۰/۱۱ ثانیه و ۳۲ درجه و ۴ دقیقه و ۲/۴۷ ثانیه شمالی قرار گرفته است.

تهیه و جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور تعیین محل خروجی کلیه رواناب‌ها در منطقه مورد مطالعه، بررسی میدانی انجام شد و نقطه خروجی در پایین‌دست منطقه مطالعاتی و در انتهای کانال اصلی جمع‌آوری آب‌های سطحی انتخاب گردید (شکل ۱). دو واقعه بارش، یکی بارش اول پاییزی مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۱ و دیگری بارشی که به فاصله تقریبی یک ماه از بارش اول در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۵ رخ داد، به‌عنوان بارش‌های واسنجی و اعتبارسنجی در نظر گرفته شدند. پارامترهای هر رویداد بارندگی شامل عمق و شدت بارندگی و تعداد روزهای خشک قبل از بارندگی از سازمان هواشناسی گرفته شد. سرعت جریان در هر نیم ساعت در نقطه خروجی اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری دبی جریان با تعیین سرعت و اندازه‌گیری سطح مقطع رواناب در هنگام نمونه‌گیری کیفی انجام شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال و با استفاده از روش استاندارد پارامترهای کل جامدات معلق (TSS)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)[1] با استفاده از روش منحنی کالیبراسیون و فلز روی (Zn) با استفاده از روش فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید (۲۲). لازم به ذکر است این پارامترها، از جمله پارامترهای پرکاربرد در سایر تحقیقات جهت سنجش کیفیت رواناب‌های سطحی بوده‌اند که با بررسی نتایج آزمایش‌های اولیه در رواناب سطحی منطقه مطالعاتی قابل سنجش بوده‌اند.

1. Chemical oxygen demand



شکل ۱. موقعیت ناحیه مورد مطالعه

روش واسنجی مدل

هدف از واسنجی، به‌دست آوردن پارامترهای مدل شامل پارامترهای هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و کیفی به‌منظور تعیین بهترین روش‌های مدیریت رواناب در منطقه مورد مطالعه است. ساده‌ترین و عملی‌ترین روش برای واسنجی پارامترها، روش آزمون و خطا است (۲۳). مدل SWMM ارائه شده در این مطالعه برای بررسی کمیت و کیفیت رواناب، شامل دو بخش: هیدرولیک-هیدرولوژیکی و بخش کیفیت آب می‌باشد (۲۱). به این منظور ضرایب build-up و wash-off رواناب مانند ضرایب هیدرولیک-هیدرولوژیکی برآورد می گردد.

بخش هیدرولیک- هیدرولوژیکی

قسمت هیدرولیک هیدرولوژیکی میزان رواناب سطحی تولید شده پس از وقایع بارندگی را ارزیابی می‌کند. این بخش از مدل SWMM از یک مخزن غیرخطی برای محاسبات میزان تولید جریان سطحی و رواناب زیر سطح حوضه آب‌ریز (معادله ۱) و از معادلات سنت وننت برای محاسبه انتقال رواناب از طریق کانال‌ها و لوله‌ها استفاده می کند (معادلات ۲ و ۳) (۲۴):

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha(d - ds)^{\frac{5}{3}} \qquad (۱)$$

$$\alpha = \frac{1.49 W S^{\frac{1}{2}}}{A.n}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g}\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) - \frac{1}{g}\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right) \quad (۲)$$

$$v\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) + y\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha\,(d - ds)^{\frac{5}{3}} \quad (۳)$$

که f، e، i، d و ds به‌ترتیب عمق رواناب، شدت بارندگی، میزان تبخیر، میزان نفوذ و عمق رواناب ذخیره شده در حوضه آب‌ریز می‌باشند. A، S، W و n به‌ترتیب عمق، شیب و سطح حوضه آب‌ریز و ضریب مانینگ و Sf، g، t، x، v، Y و S_0 نیز به‌ترتیب عمق جریان، سرعت جریان، مکان، زمان، شتاب گرانشی، ضریب اصطکاک و شیب پایین کانال می‌باشند.

بخش کیفیت

تولید آلاینده (build-up) بر روی سطح حوضه آب‌ریز یک فرآیند پویا است. در هر زمان معین، تعادل پویا بین رسوب و حذف آلاینده‌ها و بین منابع آلاینده و سینک‌ها وجود دارد. شستشو (Wash-off) فرآیندی است که توسط آن آلاینده‌های ساخته شده بر روی سطح در طی دوره خشک قبلی در رواناب آب بارندگی وارد می‌شوند (۲۵). هم تولید آلاینده و هم شستشو را می‌توان توسط مدل‌های مختلفی توصیف کرد. بخش تولید آلاینده مدل SWMM از سه روش: عملکرد نیرو، نمایی و اشباع استفاده می‌کند. در این مطالعه از روش عملکرد نمایی (معادله ۴) استفاده شد.

$$B = c_1(1 - e^{-c_2 t}) \quad (۴)$$

در این معادله B میزان تولید آلاینده (کیلوگرم در هکتار) و t تعداد روزهای خشک قبلی (روز) است. C_1 حداکثر تولید آلاینده (جرم در واحد سطح) و C_2 ثابت میزان تولید آلاینده (عکس روز) است. تولید آلاینده تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله کاربری اراضی، نفوذپذیری، ترافیک، شیب، روزهای خشک قبلی، نوع آلاینده، غلظت اولیه آلاینده در بارندگی و فاکتور اقلیمی قرار دارد (۲۱، ۲۶).

شستشوی آلاینده به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر آلاینده‌های موجود در سطوح حوضه آب‌ریز قرار دارد. بخش شستشو مدل SWMM از سه روش: منحنی قدرت، نمایی و رتبه‌بندی استفاده می‌کند. در این مطالعه، از روش عملکرد نمایی (معادله ۵) استفاده شد.

$$W = C_1 q^{C_2} B \quad (۵)$$

در این معادله، W آلاینده شسته شده در زمان t (کیلوگرم بر ساعت. هکتار)، C_1 ضریب شستشو، C_2 توان ضریب شستشو، q میزان رواناب در واحد سطح و B وزن اولیه آلاینده در سطح حوضه می‌باشد (۲۷). شستشو تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تمیز کردن خیابان‌ها قبل از بارندگی، شدت و مدت زمان و همچنین ویژگی‌های مکانی و زمانی بارندگی است (۸، ۲۷).

واسنجی مدل

ضرایب معادلات تولید و شستشوی آلاینده از طریق روش آزمون و خطا و با توجه به مقادیر احتمالی آنها در سایر مطالعات و جداول موجود در نرم‌افزار در مدل وارد شده است. پس از استخراج اجزای مورد نیاز مدل، مدل برای رویداد بارندگی اجرا گردید. پس از هر اجرا، غلظت آلاینده‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در محل مقایسه شد. معیار مورد استفاده برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عدد نش-ساتکلیف[1] می‌باشد (معادله ۶):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(i_{sim} - i_{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n}(i_{obs} - i_{av})^2} \quad (۶)$$

در این معادله isim و iobs به‌ترتیب تخلیه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده هستند. iav میانگین تخلیه‌های مشاهده شده و n تعداد کل مراحل زمانی در دوره واسنجی است (۲۸). مقدار NS می‌تواند منفی یا مثبت، با حداکثر مقدار مطلق ۱ باشد. مقدار مثبت نشان می‌دهد که مقادیر شبیه‌سازی شده روند داده‌های اندازه‌گیری شده را بهتر از میانگین مقادیر مشاهده توصیف می‌کنند، در حالی که یک مقدار منفی نشان می‌دهد که متناظر بازده مدل با رفتار سیستم مورد مطالعه متفاوت است (۲۹). بدیهی است مقدار NS بالاتر (نزدیک به ۱) به معنای مناسب‌تر شدن هیدروگراف ینی شده با نمونه مشاهده شده است. شبیه‌سازی

1. Nash-Sutcliff number

www.SID.ir

Archive of SID

مدل با مقادیر منفی NS" غیرقابل قبول" تلقی می‌شود. مقادیر احتمال NS در این مقاله برای واسنجی مدل استفاده می‌شود و هدف به‌دست آوردن بیشترین مقادیر آن‌ها می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل

پس از واسنجی پارامترهای مدل با استفاده از اولین رویداد بارندگی، مدل با داده‌های مربوط به رویداد باراش دوم تأیید شد. مدل کالیبره شده تحت بارندگی دوم اجرا شد. سپس با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، عدد Nash-Sutcliff دوباره محاسبه گردید.

یافته‌ها

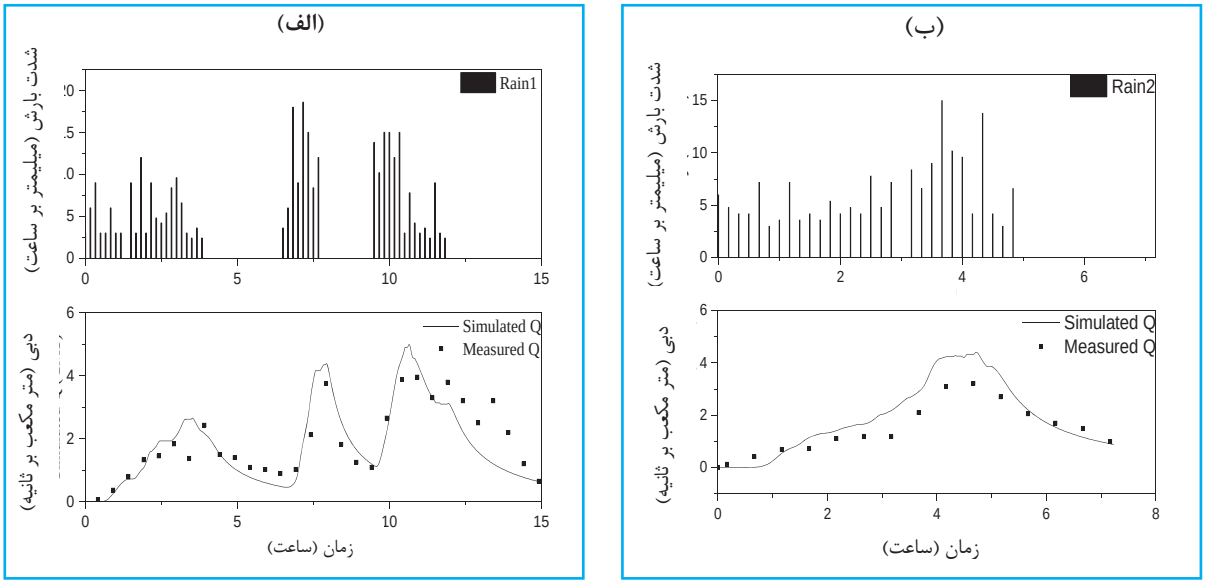
واسنجی و اعتبارسنجی مدل کمّی

در این بخش، در ابتدا تجزیه و تحلیل حساسیت برای یافتن مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در خروجی‌های مدل مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج، بیشترین حساسیت مدل به پارامتر نفوذپذیری مشاهده گردید. پارامترهای دیگر مانند شیب، عرض و ضریب مانینگ بیشترین تأثیر را در پیک جریان داشتند. برای سایر پارامترهای مدل، از مقادیر پیش‌فرض در نرم‌افزار استفاده شد که بیشتر آن‌ها بر اساس تجربیات و یافته‌های علمی سایر تحقیقات انجام شده است. تغییر پارامترهای دیگر تأثیر معنی‌داری بر تغییرات هیدروگراف ارائه شده توسط مدل نداشت. پارامترهای واسنجی بخش هیدرولیک-هیدرولوژیکی مدل و تغییر آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

نمودار ۲، الف و ب به‌ترتیب میزان جریان مشاهداتی رواناب بارش‌های اول و دوم را در برابر شبیه‌سازی و شدت بارندگی نشان می‌دهد. با گذشت زمان از شروع بارندگی، میزان جریان کم است و با گذشت زمان، افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود، در منحنی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای از میزان جریان، پیک‌ها تقریباً یکسان هستند که نشان‌دهنده یک شبیه‌سازی خوب از مدل برای منطقه و به‌خصوص بخش هیدرولیکی است. علاوه بر این، عدد Nash-Sutcliff برای واسنجی و سرعت جریان به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۶۶ بود (جدول ۲) که نشان‌دهنده اعتبار قابل قبول مدل است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل کیفی

سه آلاینده برای این بخش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت کل مواد جامد معلق و میزان اکسیژن شیمیایی در رواناب سطحی از حد استاندارد فراتر رفته و روی (Zn) در سطح استاندارد بود.



شکل ۲. میزان جریان کالیبره شده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای (الف) واقعهٔ اول مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۱؛ (ب) واقعهٔ دوم مورخ ۱۳۹۵/۱۰/۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. پارامترهای دخیل در واسنجی بخش هیدرولیکی و میزان تغییرات جهت کالیبره کردن مدل SWMM

پارامتر	میانگین مقدار اولیه	میانگین درصد تغییر	مقدار نهایی
نفوذناپذیری	٪۷۵	٪۲۵	٪۵۰
شیب	٪۱	٪۰/۲	۰/۸-۰/۷
عرض (متر)	۵۰	۲۵	۲۵
ضریب مانینگ	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱۳

جدول ۲. مقادیر عدد Nash-Sutcliff برای اعتبارسنجی و واسنجی بارش‌های اول و دوم

پارامتر	بارش اول	بارش دوم
	واسنجی	اعتبار سنجی
دبی	۰/۵۵	۰/۶۶
جامدات محلول	۰/۸۳	۰/۹
اکسیژن خواهی شیمیایی	۰/۸	۰/۸۸
روی	۰/۸۹	۰/۶

مقادیر این آلاینده‌ها در اولین بارندگی بسیار بیشتر از حد استاندارد رواناب شهری و فاضلاب شهری بود (جدول ۳) که به‌دلیل تعداد روزهای خشک قبل از بارندگی می‌باشد. در بخش واسنجی کیفی، C_1 و C_2 به‌عنوان ضرایب مهم در معادلات تولید آلاینده و شستشو، در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۳ تا ۵ نشان داده شده است، در اولین بارندگی به‌دلیل دوره خشک بیشتر، میزان آلاینده‌ها نسبت به بارش دوم بیشتر بود، اما به‌دلیل شدت زیاد بارندگی اول در مقایسه با بار دوم، آلاینده‌ها در زمان کمتری از سطح منطقه شسته شده بودند.

جدول ۳. مقایسه مقادیر آلاینده‌ها با استانداردها

پارامترهای کمی	رنج غلظت در هر بارش (میلی گرم بر لیتر)		استاندارد خروجی فاضلاب به آب سطحی (میلی گرم بر لیتر)	استاندارد استفاده مجدد از فاضلاب در کشارزی (میلی گرم بر لیتر)
	اول	دوم		
جامدات محلول	۲۶۲۰	۲۳۲۰	۴۰	۱۰۰
اکسیژن خواهی شیمیایی	۱۳۵۰	۱۲۸۵	۱۰۰	۲۰۰
روی	۱/۲۴۹	۱	۲	۱

جدول ۴. مقدار ضرایب معادلات Build-up و Wash-off در مدل SWMM برای منطقه مورد مطالعه

پارامترها	C_1	C_2
	انباشت	
جامدات محلول	۹۵	۲۵
اکسیژن خواهی شیمیایی	۴۸	۱
روی	۰/۰۹	۱
	شستشو	

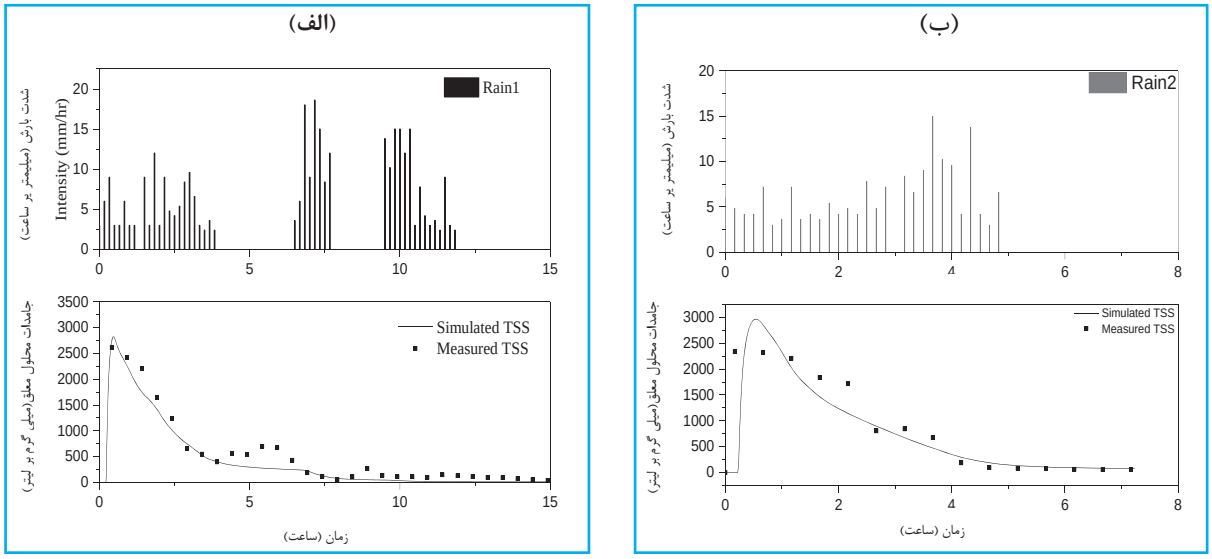
شکل ۳ الف داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده شده TSS را در اولین بارندگی نشان می‌دهد. با گذشت زمان از شروع بارندگی، مقدار مواد جامد معلق توسط پدیده شستشو از ابتدای بارندگی به‌طور پیوسته کاهش یافته و در حدود ۱۵ ساعت به کمترین میزان خود رسیده بود. شکل ۳ ب TSS مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تحت بارندگی دوم را نشان می‌دهد که با هدف اعتبارسنجی مدل پارامترها با استفاده از داده‌های بارش اول و بارش دوم کالیبره شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، کاهش مواد جامد شبیه به اولین بارندگی بود، اما با گذشت زمان، TSS کاهش می‌یافت. این امر به‌دلیل تأثیر شدت بارندگی در حذف آلاینده‌هاست. برای TSS

www.SID.ir

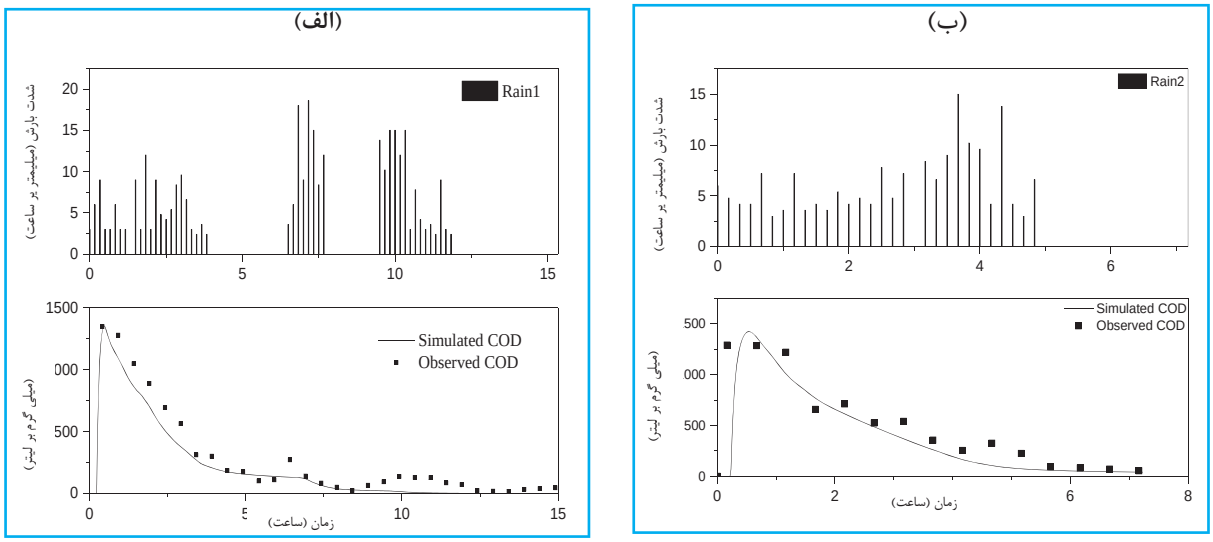
Archive of SID

عدد Nash-Sutcliff برای واسنجی ۰/۸۳ و برای اعتبارسنجی ۰/۹ بود (جدول ۲) که نشان‌دهنده اعتبار مدل در شبیه‌سازی رواناب منطقه است.

شکل ۴ الف، COD شبیه‌سازی شده را در برابر مشاهدات تحت اولین بارندگی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، پس از شروع بارندگی، میزان COD کاهش یافته و کمترین میزان آن در مدت زمان ۱۵ ساعت به‌دست آمد. شکل ۴ ب، غلظت COD را در بارش دوم نشان می‌دهد که برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. پس از شروع بارندگی در بارش دوم، میزان COD کاهش یافته و کمترین میزان آن در طی ۷ ساعت به‌دست آمد. کاهش میزان COD به‌دلیل شدت بارندگی در اولین بارندگی کمتر است، اما در اولین بارندگی به‌دلیل تعداد روزهای خشک قبلی، میزان حذف آلاینده‌ها کندتر است. عدد Nash-Sutcliff (جدول ۲) برای واسنجی ۰/۸ و برای اعتبارسنجی ۰/۸۸ به‌دست آمد. این اعداد برای شبیه‌سازی و اعتبار مدل قابل قبول است.



شکل ۳. TSS مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای (الف) واقعهٔ اول مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۱؛ (ب) واقعهٔ دوم مورخ ۱۳۹۵/۱۰/۵

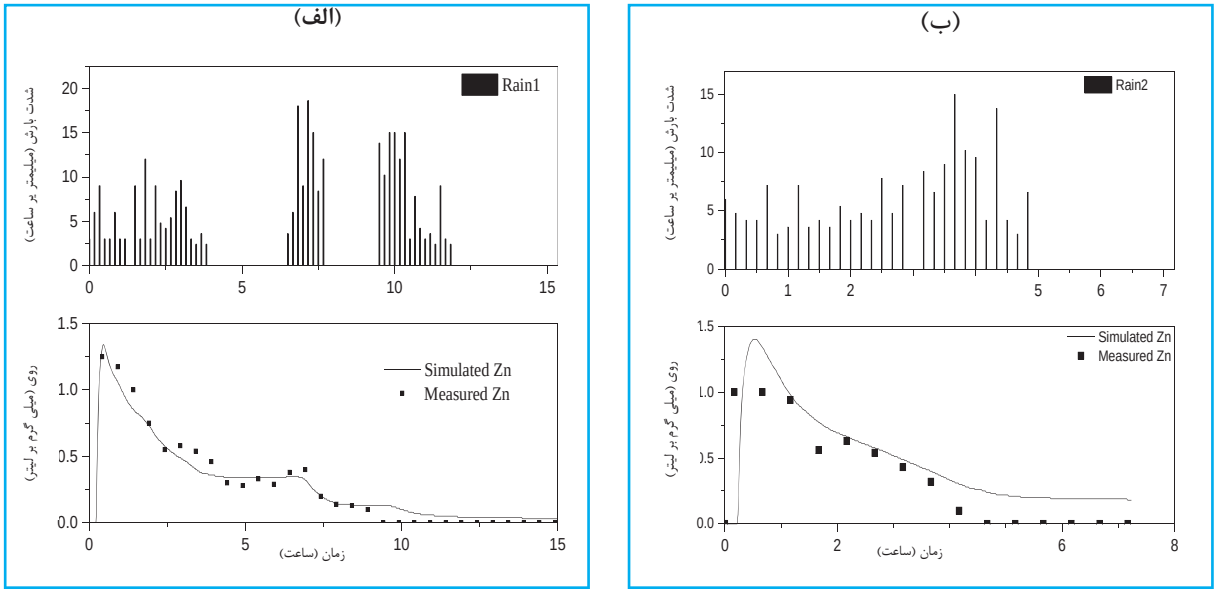


شکل ۴. COD مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای (الف) واقعهٔ اول مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۱؛ (ب) واقعهٔ دوم مورخ ۱۳۹۵/۱۰/۵

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به نتایج به‌دست آمده (شکل ۵ الف و ب)، با گذشت زمان، روی در رواناب کاهش می‌یابد. این پارامتر همچنین به‌دلیل شدت بیشتر بارندگی در اولین بارش، زودتر کاهش می‌یابد، اما به‌دلیل تعداد روزهای خشک قبلی و سطح بالاتر این آلاینده‌ها در منطقه، حذف روی کندتر است. عدد Nash-Sutcliff (جدول ۲) برای واسنجی ۰/۸۹ و برای اعتبارسنجی ۰/۶ بود که اعتبار مدل را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نکته مهمی که در مطالعات دیگر ذکر شد، این است که سطح پایین روی را می‌توان به جذب این فلز در جامدات معلق نسبت داد.



شکل ۵. Zn مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای (الف) واقعهٔ اول مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۱؛ (ب) واقعهٔ دوم مورخ ۱۳۹۵/۱۰/۵

بحث

با توجه به اینکه پیش‌بینی کمّی و کیفی رواناب، یکی از موضوعات مهم هیدرولوژی و دانش زیست‌محیطی است؛ بنابراین، شبیه‌سازی دقیق کمّیت و کیفیت رواناب ضروری می‌باشد. این امر به تعیین دقیق پارامترهای مدل بستگی دارد که می‌توان آن را از طریق واسنجی مدل به‌دست آورد. نتایج حاصل از این مطالعه در بخش واسنجی (NS بالاتر از ۰/۵ در تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده) نشان می‌دهد که این مدل از توانایی خوب و بالایی در پیش‌بینی کمّیت و کیفیت وقایع بارندگی آینده برای منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج همچنین نشان داد که مدل‌سازی ابزاری قدرتمند است که می‌تواند برای بهبود مدیریت رواناب در حوزه‌های آبریز بسیار مفید باشد. علاوه بر این، نتایج ارزیابی مدل SWMM بازده مدل را تأیید کرد. بنابراین، از این مدل می‌توان برای پیش بینی حجم رواناب تولید شده و همچنین آلاینده‌های تولید شده در رواناب شهری، در منطقه مورد نظر و سایر مناطق مشابه منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

شستشوی اولیه جامدات تحت تأثیر سرعت جریان رواناب است. به عبارت دیگر، با افزایش شیب و کاهش ضریب مانینگ، میزان جریان و شستشوی اولیه جامدات افزایش می‌یابد. همچنین شستشوی اولیه مواد جامد معلق با عواملی مانند ارتفاع بارندگی، حداکثر شدت بارندگی و مدت زمان بارندگی و حجم رواناب همراه است. با افزایش هر یک از این عوامل، شستشوی اولیه مواد جامد معلق نیز افزایش می‌یابد.

در مطالعه حاضر میزان TSS و COD در اولین بارندگی به‌ترتیب ۲۶۲۰ و ۱۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر و در بارش دوم، به‌ترتیب ۲۳۲۰ و ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. مدل مدیریت آب طوفان (SWMM)، پیش‌بینی TSS خروجی با احتمال ۶۰٪ کمتر از

www.SID.ir

Archive of SID

۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود. دی مودگونو و همکاران پایش و ارزیابی ساخت و تولید و شستشوی آلاینده را برای مدیریت پایدار اولین بارش در یک منطقه شهری مورد مطالعه قرار دادند. طبق داده‌های کمی و کیفی، میانگین TSS و COD به‌ترتیب ۷۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط ۳۰٪ ابتدای شستشو، ۶۰٪ TSS را به همراه دارد (۳۰).

تمپرانو و همکاران به‌منظور پیش‌بینی آلودگی در هوای بارانی در یک حوضه سیستم فاضلاب ترکیبی در سانتاندر اسپانیا، کاربرد مدل SWMM را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج، دقت تطبیق بین کل بارهای شبیه‌سازی شده TSS و COD اندازه‌گیری شده در پایان وقایع بارندگی به‌ترتیب ۹۳ و ۹۵ میلی‌گرم در لیتر بود. محققان اظهار داشتند که این مسئله صحت نسبی این مدل را در حالت پیش‌بینی تأیید می‌کند (۱۷).

لی و همکاران از مدل مدیریت آب طوفان برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت رواناب در یک حوضه آب‌ریز بزرگ شهری استفاده کردند. ضرایب RNS چهار آلاینده (TSS،COD ،TP ، TN) برای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی از ۰/۶۴ تا ۰/۹۶ متغیر بود. نتایج شبیه‌سازی شده کمی پایین‌تر از نتایج واسنجی بودند، اما صحت شبیه‌سازی هنوز خوب بود (۳۱). در این مطالعه، ضریب RNS سرعت جریان، COD ،TSS و روی برای واسنجی از ۰/۵۵ تا ۰/۸۹ و برای اعتبارسنجی از ۰/۶ تا ۰/۹ بود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده توانایی پیش‌بینی معنی‌داری از مدل SWMM را نشان داد که به‌درستی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده کالیبره شده است. شاخص‌های Nash-Sutcliffe محاسبه شده از ۰/۶-۰/۸۶ متغیر بود که نشان‌دهنده دقت مناسب در واسنجی و اعتبار مدل برای دو واقعه باران است. نتایج به‌دست آمده از واسنجی کمی و کیفی نشان داد که ضرایب انباشت و شستشوی آلایندگی به‌دست آمده برای منطقه مورد مطالعه در شهر شوشتر قابل اعتماد و تعمیم برای حوادث بارندگی آینده در منطقه مطالعاتی می‌باشند که این موضوع کمک شایانی به مدیریت شهری در تخمین بار آلایندگی ورودی به آب‌های پذیرنده در زمان رخداد بارش با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی کمی و کیفی رواناب‌های سطحی می‌کند. همچنین با توجه به کمبود داده‌های مشابه از این پارامترها در کشور، نتایج این مدل با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و مهندسی قابل کاربرد در مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب سطحی در مناطق مشابه خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته شده از پایان نامه دانشجویی (شماره ETRC9517) می‌باشد. بدین‌وسیله از دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز جهت حمایت مالی و مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Birgani YT, Yazdandoost F. A framework for evaluating the persistence of urban drainage risk management systems. Journal of Hydro-environment Research. 2014;8(4):330-42.
2. Hamel P, Daly E, Fletcher TD. Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanisation on baseflow: A review. Journal of Hydrology. 2013;485:201-11.
3. Chen J, Theller L, Gitau MW, Engel BA, Harbor JM. Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. Journal of environmental management. 2017(187):470-81.
4. Pyke C, Warren MP, Johnson T, LaGro Jr J, Scharfenberg J, Groth P, et al. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change. Landscape and Urban Planning. 2011;103(2):166-73.
5. Wijesiri B, Egodawatta P, McGree J, Goonetilleke A. Assessing uncertainty in pollutant build-up and wash-off processes. Environmental Pollution. 2016;212(Supplement

www.SID.ir

Archive of SID

C):48-56.
6. Chiew FH, Mudgway LB, Duncan HP, McMahon TA. Urban stormwater pollution: CRC for Catchment Hydrology; 1997.
7. Lepper P. Manual on the methodological framework to derive environmental quality standards for priority substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC). 2005.
8. McLeod SM, Kells JA, Putz GJ. Urban runoff quality characterization and load estimation in Saskatoon, Canada. Journal of environmental engineering. 2006;132(11):1470-81.
9. Marsalek J, Schroeter H. Annual loadings of toxic contaminants in urban runoff from the Canadian Great Lakes Basin. Water quality research journal of Canada. 1988;23(3):360-78.
10. Gilbert JK, Clausen JC. Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut. Water Research. 2006;40(4):826-32.
11. White SS, Boswell MR. Planning for water quality: implementation of the NPDES phase II stormwater program in California and Kansas. Journal of environmental planning and management. 2006;49(1):141-60.
12. Zoppou C. Review of urban storm water models. Environmental Modelling & Software. 2001;16(3):195-231.
13. Phillips B, Yu S, Thompson G, De Silva N, editors. 1D and 2D Modelling of Urban Drainage Systems using XP-SWMM and TUFLOW. 10th International Conference on Urban Drainage; 2005: Citeseer.
14. Elliott A, Trowsdale SA. A review of models for low impact urban stormwater drainage. Environmental modelling & software. 2007;22(3):394-405.
15. Ammon DC. Urban stormwater pollutant buildup and washoff relationships: University of Florida; 1979.
16. Ovbiebo T, She N, editors. Urban runoff quality modeling in a subbasin of the Duwamish River using XP-SWMM. Proc Watershed Management Symposium; 1995.
17. Temprano J, Arango Ó, Cagiao J, Suárez J, Tejero I. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. Water Sa. 2005;32(1):55-63.
18. Shahbazi A. Urban runoff management to reduce risks using SWMM model: Case study: Mahdasht town: MSc thesis; 2013.
19. Borris M, Viklander M, Gustafsson AM, Marsalek J. Modelling the effects of changes in rainfall event characteristics on TSS loads in urban runoff. Hydrological processes. 2014;28(4):1787-96.
20. Borris M, Viklander M, Gustafsson A-M, Marsalek J. Simulating future trends in urban stormwater quality for changing climate, urban land use and environmental controls. Water Science and Technology. 2013;68(9):2082-9.
21. Hossain I, Imteaz MA, Hossain MI. Application of build-up and wash-off models for an East-Australian catchment. Analysis. 2011;266:3320.
22. Association APH, Association AWW, Federation WPC, Federation WE. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association.; 1915.
23. Avellaneda P, Ballestero TP, Roseen RM, Houle JJ. On parameter estimation of urban storm-water runoff model. Journal of environmental engineering. 2009;135(8):595-608.
24. Julien PY, Saghafian B, Ogden FL. RASTER-BASED HYDROLOGIC MODELING OF SPATIALLY-VARIED SURFACE RUNOFF 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 1995;31(3):523-36.
25. Goonetilleke A, Thomas EC. Water quality impacts of urbanisation: Relating water quality to urban form. 2004.
26. Goonetilleke A, Yigitcanlar T, Ayoko GA, Egodawatta P. Sustainable urban water environment: Climate, pollution and adaptation: Edward Elgar Cheltenham; 2014.
27. Sartor JD, Boyd GB. Water pollution aspects of street surface contaminants: US Government Printing Office; 1972.
28. Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. validation of the swat model on a large RWER basin with point and nonpoint sources 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2001;37(5):1169-88.
29. Sourisseau S, Bassères A, Périé F, Caquet T. Calibration, validation and sensitivity analysis of an ecosystem model applied to artificial streams. Water research. 2008;42(4-5):1167-81.
30. Di Modugno M, Gioia A, Gorgoglione A, Iacobellis V, la Forgia G, Piccinni A, et al. Build-Up/Wash-Off Monitoring and Assessment for Sustainable Management of First Flush in an Urban Area. Sustainability. 2015;7(5):5050.
31. Li C, Liu M, Hu Y, Gong J, Xu Y. Modeling the Quality and Quantity of Runoff in a Highly Urbanized Catchment Using Storm Water Management Model. Polish Journal of Environmental Studies. 2016;25(4).

www.SID.ir