مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان
سال یازدهم، شماره سی‌وهفتم، زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۸۵ـ۹۹
مقاله پژوهشی

بهبود مدیریت رواناب شهری از لحاظ کمی و کیفی در بندرعباس با کمک رویکرد بهترین گزینه‌های عملیاتی (BMPs)

نسیم قشقایی‌زاده[۱]، عباس مرادی[۲]*، آرش ملکیان[۳]، ارشک حلی‌ساز[۴]، رسول مهدوی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹**

چکیده

توسعهٔ شهرنشینی و افزایش سطوح نفوذناپذیر، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با ریزش‌های جوّی ناچیز و حجم زیاد رواناب تولیدی، باعث می‌شود تا خطر ایجاد سیل که یکی از پرمخاطره‌ترین بلایای طبیعی است افزایش یابد. در این پژوهش به بررسی مدیریت کمی و کیفی رواناب در بخشی از شهر بندرعباس پرداخته شده است. بنابراین سعی شده است تا با شبیه‌سازی نحوهٔ عملکرد سیستم زهکشی رواناب سطحی، نقاط حساس به آب‌گرفتگی بررسی و بهترین گزینه‌های عملیاتی برای کاهش حجم سیل و کنترل بار آلودگی بررسی شود. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار EPA-SWMM سه راهکار مدیریتی سیستم ماند بیولوژیکی، پشت‌بام سبز و جوی باغچه مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور بررسی آنالیز حساسیت مدل، سه پارامتر شیب کانال، ضریب زبری کانال و درصد نفوذناپذیری بر روی نتایج مدل بررسی شدند و مشخص شد که درصد نفوذناپذیری بیشترین حساسیت را در پیک رواناب خروجی ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد که راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز نسبت به بقیهٔ راهکارها، با متوسط کاهش ۱۸/۸درصدی دبی پیک از عملکرد بهتری برخوردار است. همچنین با توجه به نتایج کیفی راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز پارامترهای BOD، COD و PO4 را به‌مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. بنابراین راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز به‌عنوان بهترین راهکار در کاهش پیک و بار آلودگی در محدودهٔ مورد مطالعه انتخاب شد.

کلیدواژه‌ها: بهترین گزینه‌های عملیاتی، پشت‌بام سبز، جوی باغچه، سیستم ماند بیولوژیکی، سیلاب شهری.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس قشم دانشگاه هرمزگان
۲. استادیار گروه علوم جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، نویسندهٔ مسئول، moradi@hormozgan.ac.ir
۳. دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۵. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
• این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه هرمزگان است.

DOI: 10.22052/deej.2023.248013.0

مقدمه

در عرصه‌های خشک و نیمه‌خشک، آب از یک‌طرف مهم‌ترین عامل محدودکنندهٔ توسعه پایدار بوده و از سوی دیگر سیلاب‌های فصلی عامل مهم تخریب و ایجاد خسارت است (کمالی و همکاران، ۲۰۱۳). تغییرات جهانی ازجمله توسعهٔ اقتصادی، رشد جمعیت و مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری، و تغییرات اقلیمی، باعث شکل‌گیری شهرهای خاکستری بیشتر با پتانسیل بالای سیل در سراسر جهان شده است. شهرهای خاکستری[1] عمدتاً از سطوح غیرقابل نفوذی تشکیل شده‌اند که در آن‌ها به سلامت زیست‌محیطی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی کمتر توجه شده است. شهرهای خاکستری مقدار زیادی رواناب حاوی رسوبات، میکروارگانیسم‌ها، فلزات و آلودگی‌های شیمیایی تولید می‌کنند که منجر به تخریب آب‌ها می‌شوند. واکنش نوآورانه به این مسئلهٔ جهانی توسعهٔ شهرهای سبز است که برای جبران آسیب‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی طراحی شده‌اند. شهرهای سبز از روش‌های «توسعهٔ کم‌اثر (LID[2])» ابتکارات مشابه مثل بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs[3]) استفاده می‌کنند تا به شرایط هیدرولوژیکی و ویژگی‌های زیست‌محیطی پیش از توسعه برسند (چنگ[4]، ۲۰۱۸). با توجه به این مفاهیم، در مناظر شهری، آب و کیفیت آن به‌وسیلهٔ ترکیبی از روش‌های متعارف و با اعمال روش‌های مدیریتی (BMP) نظیر سطوح نفوذپذیر، جوی-باغچه، بام‌های سبز، نوارهای گیاه‌کاری‌شده و تسهیلات نفوذ آب باران بهتر می‌توانند حفظ شوند (جورزاک[5] و همکاران، ۲۰۱۸). در سال‌های اخیر، مدیریت و چگونگی رفتار با رواناب حاصل از سیلاب مناطق شهری در درجهٔ اول تبدیل به نگرانی برای کسانی شده است که مسئول برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و نگهداری سیستم‌های زیربنایی شهرها هستند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۸).

ایجاد زیرساخت‌های شهری، به‌ویژه سیستم‌های زهکشی شهری، اثر قابل توجهی بر عملکرد هیدرولوژیکی و اکوسیستم‌ها بر جای می‌گذارند و درحالی‌که آب‌های زیرزمینی و جریان پایه کاهش می‌یابد، اغلب باعث ایجاد رواناب مازاد و افزایش انتشار آلودگی می‌شوند؛ درنتیجه آسیب‌پذیری این مناطق به سیل و خشکسالی افزایش می‌یابد و مشکلات کیفیت آب مناطق اطراف رودخانه‌ها زیاد می‌شود (بردوسی[6] و همکاران، ۲۰۱۳). قطع درختان، تسطیح خاک و فشردگی سطح خاک نیز باعث افزایش مقدار سیلاب می‌شوند (برومندنسب و جلال‌وند، ۲۰۱۲). اثرات شهرسازی بیشتر موضعی هستند اما از سایر اشکال تغییر کاربری اراضی، مشخص‌ترند. سطوح غیرقابل نفوذ و سیستم‌های مؤثر رواناب رگباری، مناطقی را که ظرفیت نفوذ آن‌ها کم یا صفر است را زیاد کرده و انتقال جریان در کانال‌ها افزایش می‌یابد. این امر باعث می‌شود تا حجم رواناب حاصل از بارندگی زیاد شده و درنتیجه رژیم رواناب تندتر با زمان تأخیر کوتاه‌تر و دبی‌های اوج بالاتر حاصل شود (فریرس و بریرلی[7]، ۲۰۱۳). اثرات نامطلوب رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری بر زیرساخت‌های شهر و زندگی ساکنان آن اخیراً باعث شده است تا به‌منظور دستیابی به مدیریت بیشتر رواناب شهری، تمایل به استفاده از سیستم‌های زهکشی پایدار افزایش یابد (طهماسبی و یزدان‌دوست، ۲۰۱۸). در این راستا بهترین گزینه‌های عملیاتی تکنیک‌های طراحی هستند که برای دستیابی به شرایط مطلوب هیدرولوژیکی مناطق توسعه‌یافته استفاده می‌شوند. دامنهٔ کاربرد LID-BMPها بسیار گسترده است. این دامنه می‌تواند از شیوه‌هایی که در آن‌ها منجر به بازداشتن رواناب می‌شود، تا گزینه‌هایی که در آن‌ها نیاز به وجود مناطق بزرگ برای نگه داشتن رواناب بدون نفوذ و یا تبخیر و تعرق گسترش یابد (مشاور ژئوسینتک[8]، ۲۰۱۰).

در این راستا مائو[9] و همکارانش (۲۰۱۷) برای کنترل رواناب در شهر جدید فوشان چین به بررسی مزایای زیست‌محیطی بهترین راهکارهای مدیریتی پرداختند. آن‌ها ترکیباتی از راهکارهای مدیریتی شامل بشکهٔ ذخیرهٔ باران، پشت‌بام سبز، پیاده‌روهای متخلخل، مخزن نگهداشت زیستی یا سلول ماند بیولوژیکی، جوی- باغچه و حوضچه‌های مرطوب

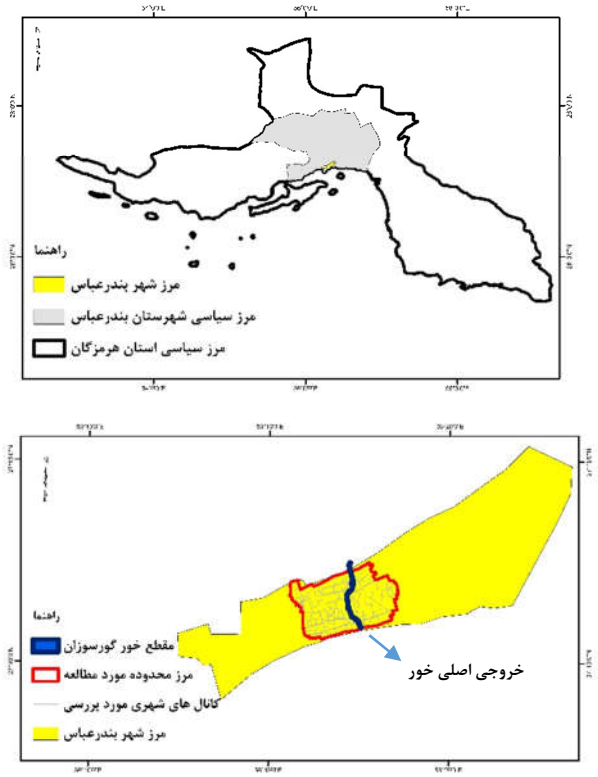
1. Gray cities
2. Low Impact Development
3. Best Management Practice
4. Chang
5. Jurczak
6. bardossy
7. Fryirs & Brierley
8. Geosyntec Consultants
9. Mao

را انتخاب و طراحی کردند. نتایج نشان داده است که در بهترین ترکیب LID-BMPs در کل منطقهٔ مورد مطالعه، حجم جریان بیش از ۴۰٪ و تمام بارهای آلاینده بیش از ۶۰٪ کاهش می‌یابد. مظفری و همکارش (۲۰۱۷) در پژوهشی با انتخاب بهترین راهکارهای مدیریتی به بررسی مدیریت کمی و کیفی رواناب شهری در بخشی از منطقهٔ ۲۲ تهران پرداختند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار EPA-SWMM دو راهکار جوی- باغچه و سیستم ماند بیولوژیکی یا پشت‌بام سبز، در کنترل دبی جریان، بار آلودگی و غلظت کل جامدات معلق را ارزیابی کردند. نتایج نشان داده است که راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز در کاهش پیک رواناب با متوسط کاهش ۱۸/۲ درصد و در کاهش غلظت کل جامدات معلق به‌طور متوسط ۱۸/۷درصد نسبت به جوی- باغچه از عملکرد بهتری برخوردار است. طاهریون و همکارانش (۲۰۱۶) با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی، گزینه‌های مختلفی مانند سیستم‌های جوی- باغچه، سیستم ماند بیولوژیکی، سطوح نفوذپذیر و ترانشه‌های نفوذ را با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWMM، برای کاهش دبی و بار آلودگی رواناب یک زیرحوضه از کلان‌شهر تهران در قالب سناریوهای مختلف ارزیابی کردند. نتایج حاکی از این بود که می‌توان با استفاده از این راهکارها در دبی جریان و بار آلودگی کاهش زیادی ایجاد کرد. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور کاهش سطح رواناب شهری، بهترین راهکارهای مدیریتی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از مدل SWMM به مدل‌سازی BMPها در دورهٔ بازگشت‌های ۲،۵ و ۱۰ ساله پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، میزان کاهش حجم رواناب سطحی به‌شدت به نوع، پوشش منطقه و محل BMP بستگی دارد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که انتخاب مناسب BMP در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله باعث کاهش حجم رواناب به‌ترتیب ۶۸، ۶۰ و ۵۱٪ می‌شود. با توجه به موارد عنوان‌شده هدف از این پژوهش بررسی مدیریت کمی و کیفی سیلاب شهری با استفاده از مدل EPA-SWMM برای برنامه‌ریزی جهت کاهش دبی پیک سیلاب شهری و بار آلودگی است.

مواد و روش‌ها

محدودهٔ مورد مطالعه: شهر بندرعباس در منتهی‌الیه جنوب خاوری رشته‌کوه زاگرس و حدفاصل بین حاشیهٔ جنوبی ارتفاعات و خلیج فارس واقع شده است. این منطقه دارای آب‌وهوای گرم و خشک، متوسط بارندگی سالانه ۱۸۱/۲ میلی‌متر و میانگین دما ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد است. محدودهٔ مورد مطالعه حوضهٔ آبریز خور (مسیل) گور سوزان در محدودهٔ شهری بندرعباس به طول حدود ۴ کیلومتر را شامل می‌شود که از محل تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر بندرعباس واقع در شمال شهر آغاز شده و تقریباً از میانه‌های شهر عبور کرده و به دریا می‌ریزد. این خور در اغلب ایام سال خشک بوده و فقط در مواقع بارندگی و سیلابی رواناب‌های سطحی حوضهٔ بالادست و بخشی از حوضهٔ شهری را به‌سمت دریا زهکش می‌کند. سیستم زهکشی شهر بندرعباس دارای پیچیدگی‌های فراوانی است که بیشتر ناشی از توسعهٔ ناهمگون شهر بدون توجه به معیارهای جامع شهرسازی در دهه‌های گذشته است. در داخل محدودهٔ شهری بندرعباس مسیل‌ها و رودخانه‌های بسیاری وجود دارند که به‌دلیل ارزش بالای اراضی اطراف آن‌ها، کانال‌هایشان بازسازی و محدود شده است. این امر در هنگام وقوع سیلاب خسارات گسترده‌ای به همراه دارد.

بافت قدیمی حوزهٔ مورد مطالعه در شهر بندرعباس دارای ساختمان‌های قدیمی با مصالح سنتی بوده و معابر آن با وجود آنکه آسفالت شده‌اند، دارای شیب‌های مناسب نبوده، و در بعضی موارد شیب آن‌ها به‌طور معکوس به‌سمت منازل است و آب باران، محلی برای دفع شدن ندارد. همچنین در بافت‌های جدید شهر بندرعباس به‌دلیل شیب ملایم خیابان‌ها و بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، امکان آب‌گرفتگی کوچه‌ها و منازل زیاد است و اغلب مناطق با توپوگرافی نامناسب در هنگام بارش‌ها به‌ویژه بارش‌های مداوم یا شدید دچار آب‌گرفتگی می‌شوند. بنابراین در این پژوهش سعی شده است تا با شبیه‌سازی نحوهٔ عملکرد سیستم زهکشی رواناب سطحی، نقاط حساس به آب‌گرفتگی بررسی گردد و بهترین گزینه‌های عملیاتی برای کنترل سیلاب و بار آلودگی مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل (۱) موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در استان هرمزگان و در شهر بندرعباس و شمای کلی منطقه نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در استان هرمزگان و در شهرستان بندرعباس

Figure (1): Position of study area in Hormozgan province and in Bandar Abbas city

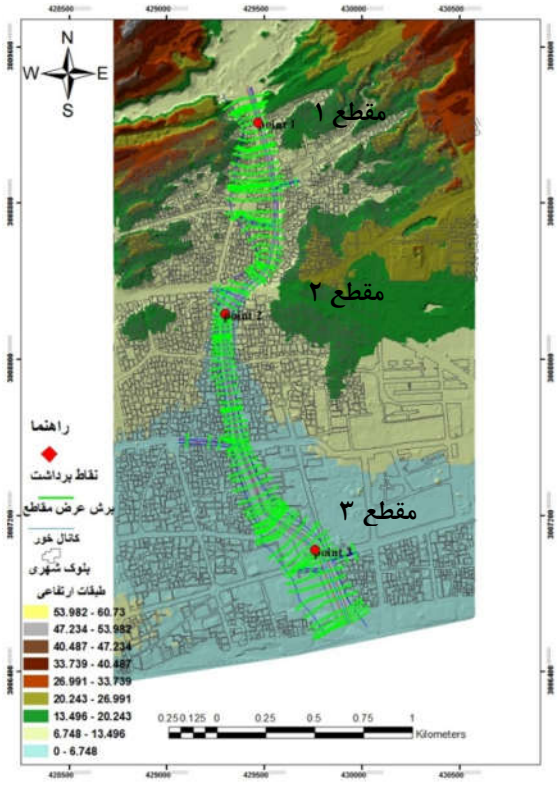
روش تحقیق

به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات هیدرولوژیکی داده‌ها، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، در نرم‌افزار ArcGIS، شیب و جهت شیب محاسبه و مرز زیرحوضه‌های منطقهٔ مورد مطالعه تعیین شد. سپس با استفاده از نقشهٔ کاربری اراضی شهری در هر زیرحوضه، مساحت قسمت‌های نفوذناپذیر محاسبه گردید. به‌منظور تعیین حداکثر پتانسیل ذخیره (S) از منحنی بی‌بعد (CN) استفاده شده است. مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیرحوضه به سیستم زهکشی رواناب، ابعاد و مقطع عرضی ابتدا از طریق بازدید میدانی تعیین و مشخصات فیزیوگرافی اتصالات با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. درنهایت در منطقهٔ مورد مطالعه ۳۳۷ زیرحوضه، ۴۹۸ گره و ۴۹۲ کانال مشخص گردید. در شکل (۲) نقشهٔ شماتیک منطقهٔ مورد مطالعه و زیرحوضه‌های شهری تفکیک‌شده نشان داده شده است. در شهر بندرعباس ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد؛ بنابراین به‌منظور تهیهٔ داده‌های کمی مورد نیاز، دبی رواناب به‌وسیلهٔ دستگاه مولینه در سه مقطع (شکل ۳) اندازه‌گیری شد. درمجموع در پنج واقعهٔ بارندگی، مقادیر دبی با استفاده از دستگاه مولینه تا زمان اتمام دبی خروجی اندازه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی داده‌های بارندگی مربوط به ایستگاه سینوپتیک بندرعباس متعلق به ادارهٔ هواشناسی، داده‌های مذکور به‌همراه سایر اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در منطقهٔ مورد مطالعه به مدل SWMM وارد شد و مقادیر دبی شبیه‌سازی‌شده به دست آمد. سپس مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌شده مورد مقایسه قرار گرفت. در این مطالعه به‌منظور محاسبهٔ نفوذ، افت و روندیابی به‌ترتیب از روش‌های SCS، هیزن ویلیامز و موج دینامیکی استفاده شده است. همچنین در محل اندازه‌گیری جریان هم‌زمان با رخدادهای بارش، نمونه‌گیری کیفی انجام شد. از تعداد پنج رخداد اندازه‌گیری کمی، یک رخداد آن به‌همراه نمونه‌برداری کیفی بوده که در مقاطع شمارهٔ ۲ و ۳ برداشت شده است. نمونه‌های برداشت‌شده در تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۴ برای آنالیز کیفی به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب شهری بندرعباس تحویل داده شد و پارامترهای BOD، COD، NO3 و PO4

مطابق جدول (۱) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

شکل (۲): نقشهٔ منطقهٔ مورد مطالعه و زیرحوضه‌های شهری

Figure (2): Map of study area and urban sub-basins



شکل (۳): موقعیت نقاط برداشت در طول کانال خور گورسوزان

Figure (3): Position of harvest points along the channel

جدول (۱): مقادیر پارامترهای کیفی در رخداد ۱۳۹۴/۱۰/۴

Table (1): Measured qualitative parameters values

شاخص کیفی	مقادیر شاخص کیفی آزمایش‌شده (میلی‌گرم در لیتر)	
	مقطع دوم	مقطع سوم
BOD	۵۳	۱۵۱
COD	۲۰۴	۴۴۶
NO3	۱۸/۱	۱۵/۲
PO4	۰/۷۴	۰/۴۵

فرایند شبیه‌سازی EPA-SWMM: مدل SWMM یک مدل شبیه‌سازی پویای بارش-رواناب است. این مدل مشخصه‌های بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیکی و کیفیت آب شامل بارش، ذوب برف، رواناب سطحی، جریان زیرسطحی، مسیر جریان، ذخیره و تصفیهٔ جریان را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توسط کنسرسیومی از شرکت‌های دانشگاه فلوریدا به‌همراه مهندسین منابع آب در سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ ارائه شده است (اردشیر، ۲۰۱۷). اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز مدل SWMM شامل اطلاعات انواع گره‌ها، آبگذرها، چاه‌ها، خروجی‌ها و نقاط و سازه‌های کنترل است (حیدرزاده و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین از پارامترهای هیدرولوژیکی مدل می‌توان به عرض، مساحت، ضریب زبری، ذخایر چالابی، الگوی نفوذ و الگوی بارش نام برد (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۷). در این مدل، شبیه‌سازی از طریق معرفی مجموعه‌ای از زیرحوضه‌ها و تعیین میزان بارش و آلودگی در هر زیرحوضه و انتخاب روش تلفات متناسب با طرح صورت می‌گیرد. نظر به اینکه مدل SWMM قابلیت مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های شهری و همچنین مدل‌سازی کیفی رواناب را دارد و با توجه به اینکه اخیراً قابلیت مدل‌سازی LIDهای مختلف نیز در این مدل اضافه شده است، می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید در راستای مدیریت کاراتر حوضه‌های شهری و حتی غیرشهری مورد استفاده قرار گیرد (اردشیر، ۲۰۱۷). در مدل، هر زیرحوضه به‌شکل یک مخزن غیرخطی فرض می‌شود که در این روش عمق رواناب حاصل از بارش (y) پس از کسر عمق چالاب (yp) و میزان تبخیر و نفوذ محاسبه می‌گردد. در مخزن غیرخطی روابط پیوستگی (رابطه‌های ۱ و ۲) و مانینگ برقرار است. این روابط به شرح زیر بسط داده شده‌اند:

$$\frac{dv}{dt} = A.\frac{dy}{dt} = A.i = Q \qquad (۱)$$

$$V = A.y \qquad (۲)$$

که در آن V حجم آب در زیرحوضه (M^3)، A سطح حوضهٔ آبریز ($M2$) است. همچنین معادلهٔ مانینگ برای مخزن به‌صورت رابطهٔ (۳) می‌باشد:

$$Q = \frac{W}{n}(y - yp)^{5/3}s^{1/2} \qquad (۳)$$

که در آن W پهنای متوسط زیرحوضه (m)، n ضریب زبری مانینگ زیرحوضه، yp عمق رواناب (m)، S شیب متوسط

۹۰

زیرحوضه (m/m) است. از ترکیب رابطهٔ پیوستگی و مانینگ در مخزن غیرخطی رابطهٔ (۳) رابطهٔ دیفرانسیل غیرخطی (۴) حاصل می‌شود.

$$\frac{y_2 - y_1}{\Delta t} = i - \frac{1.49 W s^{1/2}}{A.n}[y_1 + 0.5 * (y_2 - y_1) - y_p]^{5/3} \quad (۴)$$

که در آن، Δt گام زمانی و y_1 عمق در ابتدای گام زمانی است (روسمن[1]، ۲۰۰۵).

تحلیل حساسیت مدل

در آنالیز حساسیت میزان تأثیرگذاری پارامترها بر روی نتایج مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مطالعه میزان تأثیرگذاری سه پارامتر شیب کانال، ضریب زبری کانال و درصد نفوذناپذیری بر روی نتایج مدل بررسی شدند. مطابق با جدول شماره ۲ بدیهی است که با افزایش شیب، میزان دبی پیک افزایش می‌یابد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مورد بررسی نشان داد که درصد نفوذناپذیری بیشترین حساسیت را در پیک رواناب خروجی ایجاد می‌کند.

جدول (۲): دامنهٔ تغییرات متغیرها برای آنالیز حساسیت

Table (2): Initial values and range of variable for analysis of mode

پارامتر	بخش	محدودهٔ تغییرات	میزان تغییرات دبی پیک خروجی (درصد)
شیب زیرحوضه	زیرحوضه	۱۰٪ افزایش	+ ۱/۷
		۱۰٪ کاهش	− ۲/۶
		۲۰٪ افزایش	+ ۲/۶
		۲۰٪ کاهش	− ۵/۲
		۳۰٪ افزایش	+ ۴/۳
		۳۰٪ کاهش	− ۷/۸
ضریب زبری	مناطق نفوذپذیر	۱۰٪ افزایش	− ۱/۰۲
		۱۰٪ کاهش	+ ۱/۱
		۲۰٪ افزایش	− ۲/۲
		۲۰٪ کاهش	+ ۲/۵
		۳۰٪ افزایش	− ۴/۳
		۳۰٪ کاهش	+ ۳/۱
درصد نفوذناپذیری	حوضه	۱۰٪ افزایش	+ ۷/۸
		۱۰٪ کاهش	− ۳/۷
		۲۰٪ افزایش	+ ۱۴/۸
		۲۰٪ کاهش	− ۱۳
		۳۰٪ افزایش	+ ۲۱/۷
		۳۰٪ کاهش	− ۲۲/۲

واسنجی مدل

هدف از واسنجی حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده است و این کار ممکن است به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا روش‌های بهینه‌سازی انجام شود (جبرماریام[2]، ۲۰۱۵). به‌منظور واسنجی مدل، در خروجی حوضهٔ شهری مورد مطالعه برای هر رگبار، به‌کمک مولینهٔ سرعت و توسط اشل ارتفاع رواناب اندازه‌گیری گردید. مشخصات رویدادهای بارندگی مورد استفاده در جدول (۳) نشان داده شده است. در این مطالعه از سه واقعهٔ نمونه‌برداری‌شده برای واسنجی و از دو واقعه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است.

جدول (۳): خصوصیات بارش‌های استفاده‌شده برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM

Table (3): Characteristics of rainfall used to calibrate and validate the SWMM model

واسنجی		
تاریخ وقوع	مدت تداوم (ساعت)	ارتفاع بارش (میلی‌متر)
۱۳۹۲/۱۰/۳۰	۱۷	۲۴.۵
۱۳۹۲/۱۲/۲۳	۱۵	۱۱۱.۵
۱۳۹۴/۱۰/۴	۱۰	۲۵.۶
اعتبارسنجی		
تاریخ وقوع	مدت تداوم (ساعت)	ارتفاع بارش (میلی‌متر)
۱۳۹۲/۱۰/۱۷	۹	۲۴.۱
۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۲	۳۳.۲

به‌منظور بررسی میزان اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای از ضریب کارایی نش–ساتکلیف (NS) استفاده شده است که توسط رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\{y_i - x_i\}^2}{\sum_{i=1}^{n}\{x_i - \bar{x}\}^2} \quad (۵)$$

که در آن، x_i مقدار دادهٔ اندازه‌گیری‌شده، y_i مقادیر شبیه‌سازی‌شده و $\bar{x}$ میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است. نتایج آماری حاصل از فرایند قبل و بعد از واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۴) آورده شده است. در شکل (۴) نیز نمونه‌ای از هیدروگراف قبل و بعد از کالیبراسیون آورده شده است.

جدول (۴): نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM

Table (4): Calibration and validation results of the SWMM model

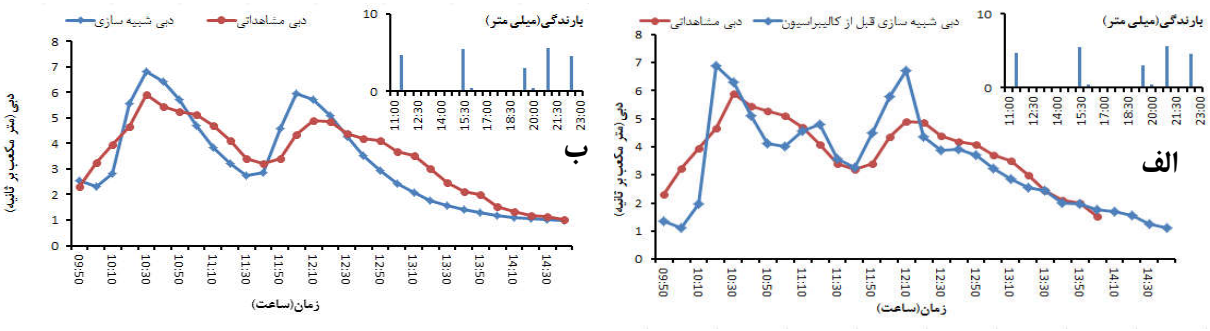
واسنجی	اعتبارسنجی

1. rossman

2. geberemariam

تاریخ وقوع	R^2	NAS	تاریخ وقوع	R^2	NAS
۱۳۹۲/۱۰/۳۰	0.89	0.69	۱۳۹۲/۱۰/۱۷	0.94	0.76

۱۳۹۲/۱۲/۲۳	0.94	0.93	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	0.9	0.83
۱۳۹۴/۱۰/۴	0.82	0.63			



شکل (۴): کالیبراسیون مدل SWMM الف) قبل از کالیبراسیون و ب) بعد از کالیبراسیون در تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۴

Figure (4): Calibration of the SWMM model A: Before calibration and B: After calibration on 4/10/1394

جدول (۵): مقایسهٔ نتایج مدل SWMM و روش استدلالی

Table (5) :Comparison of the results of the SWMM model and the reasoning method

مجموع دبی اوج خروجی‌ها با دورهٔ بازگشت	روش استدلالی مترمکعب بر ثانیه	مدل SWMM مترمکعب بر ثانیه	میانگین خطای نسبی (MRE)	خطای (RMSE)
۲ ساله	۲۲/۲	۲۷/۲۲	٪۱۸/۴	۳/۵
۵ ساله	۲۸/۰۳	۳۳/۸	٪۱۷	۴
۱۰ ساله	۳۴/۲۵	۳۹/۵۹	٪۱۳/۵	۳/۷۷

انتخاب روش شبیه‌سازی مدل

در بخش کمی برای مدل‌سازی نفوذ در نرم‌افزار SWMM از روش شمارهٔ منحنی SCS[1] و برای مسیریابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی[2] استفاده شده است. به‌منظور شبیه‌سازی کیفی، پارامتر افزایش تدریجی آلاینده[3]، تابع نمایی و برای شبیه‌سازی شست‌وشوی آلاینده‌ها[4] از روش بار متعادل[5] (میانگین غلظت رخداد) استفاده شده است.

صحت‌سنجی مدل با پارامتر دورهٔ بازگشت

به‌دلیل ماهیت تصادفی آمار و اطلاعات بارندگی، این بارندگی‌ها در هر سال ثابت نبوده و تغییر می‌یابند، بنابراین پارامتر دورهٔ بازگشت برای این اطلاعات در نظر گرفته می‌شود؛ به‌عبارت دیگر دورهٔ بازگشت احتمال وقوع بارندگی را نمایش می‌دهد. طبق نشریهٔ مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های فاضلاب و آب‌های سطحی، دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای طراحی شبکهٔ آب‌های سطحی و رواناب‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد (استاندارد صنعت آب و آبفا[6]، ۲۰۱۷). در این مطالعه بعد از کالیبره نمودن مدل با رویدادهای بارندگی مورد استفاده در جدول (۲)، مدل را برای دورهٔ بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله آماده نموده و صحت‌سنجی می‌کنیم.

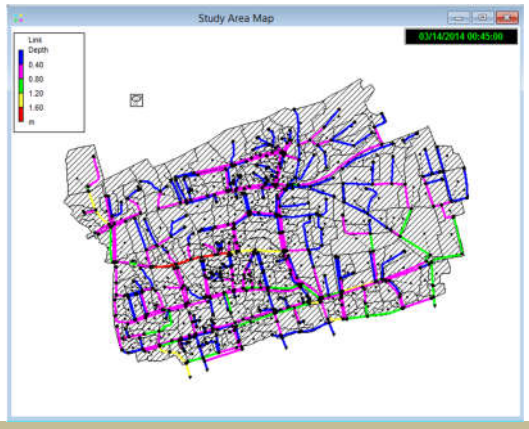
همان‌طور که گفته شد، در محدودهٔ مورد مطالعه ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد؛ به‌منظور صحت‌سنجی، دبی اوج هیدروگراف خروجی مدل SWMM با دبی اوج محاسبه‌شده به روش استدلالی، مقایسه شده است و نتایج حاصل در جدول (۵) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از هر دو روش به یکدیگر نزدیک است.

خروجی مدل

1. Curve Number
2. Dynamic Wave
3. Build up
4. Wash off
5. Event Mean Concentration (EMC)
6. Water and wastewater standards and projects

۹۲

پس از ورود داده‌ها و انجام مراحل ذکرشده، مدل بارش رواناب حوضه‌های شهری پردازش و مدل برای دورهٔ بازگشت مختلف اجرا و جداول و هیدروگراف‌های رواناب خروجی از حوضه‌های مختلف استخراج شده است. با توجه به شکل (۵) در حوضهٔ شهری مورد مطالعه در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله پس‌زدگی جریان به رنگ زرد، سبز و قرمز مشاهده می‌شود و حدود ۱۸٪ از کل شبکه است. با توجه به توسعهٔ شهری و امکان‌پذیر نبودن توسعهٔ شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی، استفاده از BMP امری ضروری در کاهش سیلاب شهری است.



شکل (۵): خروجی مدل در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله

Figure (5): Model output in the 10-year return period

آبرفت در محدودهٔ شهر بندرعباس نشان می‌دهد که این شهر بر روی رسوبات ساحلی ریزدانهٔ رسی، ماسه‌ای و سیلتی بنا شده است. میزان نفوذپذیری کلی این رسوبات در بستر شهر با توجه به نتایج آزمایشات موردی موجود، بین 10^{-3} تا 10^{-4} متر بر ثانیه است که بیانگر نفوذپذیری متوسط تا کم این لایه‌هاست. همچنین با توجه به اشباع بودن لایه‌های زیرین در نوار ساحلی سطح آب زیرزمینی شور بالا می‌باشد؛ بنابراین LIDهایی که سفرهٔ آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند نمی‌توانند کارایی زیادی داشته باشند. از طرفی خصوصیات آب‌وهوایی منطقه نیز در انتخاب LID تأثیرگذار است. مناطقی که پتانسیل تبخیر و تعرق در آن‌ها بیشتر از میزان بارش است، مناطق مناسبی برای LIDهای نفوذپذیرند. در چنین مناطقی خاک به‌سرعت رطوبت خود را از دست می‌دهد و در هنگام بارندگی می‌تواند سهم بیشتری از بارش را جذب کند (مهندسین مشاور پدیدآب سپاهان، ۲۰۱۵). با توجه به مطالب عنوان‌شده از بین BMPهای موجود، با توجه به شرایط توسعهٔ شهری منطقه، سه گزینهٔ پشت‌بام سبز، سلول ماند بیولوژیکی و جوی- باغچه برای این مطالعه انتخاب شد. در جدول (۶) مشخصات راهکارهای مدیریتی به‌کاررفته آورده شده است.

انتخاب BMPها

جدول (۶): ورودی‌های مورد نیاز مدل SWMM برای راهکارهای مدیریتی منتخب (Rossman, 2005)

Table (6): Required inputs for the SWMM model for selected management practice

لایه	پارامتر	واحد	سلول ماند بیولوژیکی	پشت‌بام سبز	جوی- باغچه
سطح	ارتفاع	mm	۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰
	حجم گیاه	-	۰/۱	۰/۱	۰/۱
	زبری سطح	-	۰/۴	۰/۱۵	۰/۸
	شیب سطح	٪	۰/۵	۱	۰/۵
خاک	ضخامت	mm	۱۵۰	۳۰۰	-
	تخلخل	-	۰/۵	۰/۵	-
	ظرفیت مزرعه	-	۰/۲	۰/۲	-
	نقطهٔ پژمردگی	-	۰/۱	۰/۱	-
	هدایت هیدرولیکی K	mm/h	۰/۵	۰/۵	-
	شیب هدایت هیدرولیکی	٪	۱۰	۱۰	-

	مکش	mm	۳/۵	۳/۵	–
ذخیره	ضخامت	mm	۶۰۰	–	–
	Void ratio	–	۰/۷۵	–	–
	نرخ نفوذ	mm/h	۰/۵	–	–

تعریف سناریوها و شبیه‌سازی آن‌ها

در این تحقیق بعد از مدل‌سازی شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی، واسنجی، اعتباریابی و درنهایت انتخاب BMPها، ۸ سناریو (۴ سناریو برای بررسی خصوصیات کمی و ۴ سناریو برای بررسی خصوصیات کیفی) با رگبار ۶ ساعته، با دورهٔ بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله جهت تحلیل کمی در نظر گرفته شده است. جدول (۷) خصوصیات سناریوها را نشان می‌دهد. به‌منظور مقایسهٔ BMPها درصد پوشش زیرحوضه‌ها برای سه راهکار مدیریتی جوی- باغچه، پشت‌بام سبز و سلول ماند بیولوژیکی برابر در نظر گرفته شده است. درنهایت از میانگین خطای نسبی (MRE) مطابق فرمول زیر برای محاسبهٔ میزان کاهش دبی پیک رواناب و میزان کاهش بارهای آلودگی استفاده شده است.

$$MRE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i - \hat{Q}_i}{Q_I}\right)$$

جدول (۷): مشخصات سناریوهای به‌کاررفته در منطقهٔ مورد مطالعه

Table (7): Specifications of the scenarios used in the study area

سناریو	نوع	توضیحات
۱	کمی	شبیه‌سازی کمی بدون به‌کارگیری BMPs
۲	کمی	شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن سلول ماند بیولوژیکی
۳	کمی	شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن پشت‌بام سبز
۴	کمی	شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن جوی- باغچه
۵	کیفی	شبیه‌سازی کیفی بدون به‌کارگیری BMPs
۶	کیفی	شبیه‌سازی کیفی با لحاظ نمودن سلول ماند بیولوژیکی
۷	کیفی	شبیه‌سازی کیفی با لحاظ نمودن پشت‌بام سبز
۸	کیفی	شبیه‌سازی کیفی با لحاظ نمودن جوی- باغچه

نتایج

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی پنج واقعهٔ بارندگی در جدول (۴) مشاهده می‌شود که ضریب کارایی نش- ساتکلیف بین مقادیر ۰/۶۳ تا ۰/۹۳ قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به جدول (۵) خروجی مدل در دورهٔ بازگشت‌های مختلف نیز حاکی از قابل اطمینان بودن نتایج است. بنابراین با توجه به نتایج مدل در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله (شکل ۵)، مناطقی که دچار پس‌زدگی جریان بودند، برای LID انتخاب شدند؛ همچنین برای ارزیابی دقیق LIDها مساحت اشغالی هر زیرحوضه مساوی انتخاب شد.

سناریو اول: این سناریو ویژگی‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رواناب شهری را بدون وجود BMPها ارائه می‌دهد. پیک رواناب کل شبکهٔ آب‌های سطحی در این سناریو به‌عنوان مبنا جهت مقایسه با دیگر سناریوها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول (۸) میزان دبی پیک خروجی برای دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال ارائه شده است. میزان دبی پیک در خروجی حوضه بدون استفاده از راهکار مدیریتی برای دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به‌ترتیب برابر با ۲۷/۲۲، ۳۳/۸ و ۳۹/۵۹ مترمکعب بر ثانیه است.

سناریو دوم: در این سناریو، شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن سلول ماند بیولوژیکی انجام شده است. جدول (۸) میزان دبی پیک را در همهٔ خروجی‌ها ارائه می‌دهد. میزان دبی برای همهٔ خروجی‌ها با استفاده از راهکار مدیریتی سلول ماند بیولوژیکی برای دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به‌ترتیب برابر با ۲۳/۲۹، ۲۸/۵۴ و ۳۳/۱۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که نسبت به سناریو بدون استفاده از راهکار مدیریتی میزان دبی در حدود ۱۴ تا ۱۶ درصد کاهش داشته است.

سناریو سوم: در این سناریو، شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن پشت‌بام سبز به‌عنوان بهترین راهکار مدیریتی (BMP) لحاظ شده است (جدول ۸). دبی خروجی با استفاده از راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز برای دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به‌ترتیب برابر با ۲۲/۳۷، ۲۷/۵۷ و ۳۲/۱۳ مترمکعب بر ثانیه است که نسبت به سناریو بدون استفاده از راهکار مدیریتی

۹۴

میزان دبی در حدود ۱۸ تا ۱۹ درصد کاهش داشته است.

سناریو چهارم: در این سناریو، شبیه‌سازی کمی با لحاظ نمودن بهترین راهکار مدیریتی جوی- باغچه انجام شده است (جدول ۸). دبی خروجی با استفاده از این راهکار مدیریتی برای دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به‌ترتیب برابر با ۲۴/۶۴، ۳۰/۲۲ و ۳۵/۱۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که نسبت به سناریو بدون استفاده از راهکار مدیریتی میزان دبی در حدود ۹ تا ۱۱ درصد کاهش داشته است.

جدول (۸): میزان رواناب در خروجی حوضه برای دورهٔ بازگشت‌های مختلف در سناریوهای منتخب

Table (8): Runoff rate at basin outlet for different return periods in selected scenarios

	دورهٔ بازگشت	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم
		بدون LID	Bio-retention cell	Green roof	Swale
دبی خروجی (مترمکعب بر ثانیه)	۲ سال	۱۶/۸۵	۱۵/۶۸	۱۵/۵۴	۱۵/۹۸
	۵ سال	۲۱/۳	۱۹/۶۳	۱۹/۵۲	۲۰/۰۱
	۱۰ سال	۲۵/۳۳	۲۳/۱۹	۲۳/۱	۶۲/۲۳

سناریو پنجم: در این سناریو شبیه‌سازی کیفی بدون وجود BMPها انجام می‌شود و به‌عنوان مبنای کیفی برای مقایسهٔ دیگر سناریوها به‌کار می‌رود. برای بررسی شاخص‌های کیفی دو لایهٔ کاربری مناطق توسعه‌یافته و مناطق بدون توسعه برای زیرحوضه‌ها در مدل‌ها تعریف می‌گردد. که غالباً ۹۰٪ توسعه یافته و ۱۰٪ بدون توسعه برای تک‌تک زیرحوضه‌ها تعریف شده است.

سناریو ششم: این سناریو، شبیه‌سازی کیفی سناریوی ۲ می‌باشد و اثر سلول ماند بیولوژیکی را بر روی حذف پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار می‌دهد.

سناریو هفتم: این سناریو، شبیه‌سازی کیفی سناریوی ۳ می‌باشد و اثر راهکار مدیریتی سلول پشت‌بام سبز را بر روی حذف پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار می‌دهد.

سناریو هشتم: این سناریو، شبیه‌سازی کیفی سناریوی ۴ می‌باشد و اثر راهکار مدیریتی جوی- باغچه را بر روی حذف پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج حاصل از سناریوهای کیفی در جدول (۹) آورده شده است.

جدول (۹): مقادیر پارامترهای کیفی مورد بررسی در خروجی حوضه در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با لحاظ سناریوهای کیفی

Table (9): The values of the quality indices examined at the outlet of the basin during the 10-year return period in terms of qualitative scenarios

شاخص کیفی	سناریو پنجم	سناریو ششم	سناریو هفتم	سناریو هشتم
	بدون LID	Bio-retention cell	Green roof	Swale
BOD	۵۹	۴۴/۵۴	۳۵/۵۱	۳۸/۴۹
COD	۲۴۵	۱۹۰/۶۵	۱۷۷	۲۲۰/۴
NO3	۱۶/۳۲	۱۰/۴۲	۱۶	۱۱/۷۳
PO4	۰/۷۶	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۳

تحلیل کمی یافته‌های پژوهش

درخصوص واسنجی مدل، مقادیر به‌دست‌آمده برای ضریب نش-ساتکلیف اگر در بازهٔ $0.65 < NS < 0.75$ باشد، نشان‌دهندهٔ شبیه‌سازی خوب و $NS > 0.75$ نشان‌دهندهٔ شبیه‌سازی خیلی خوب مدل بارش رواناب است (زندی دره غریبی و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به جدول (۴) (ضریب NS بین ۰/۶۳ تا ۰/۹۳) انطباق قابل ملاحظه‌ای بین رواناب شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای وجود دارد. جدول (۱۰) درصد تغییرات رواناب خروجی کل حوضه را در سناریوها نشان می‌دهد. شکل (۶) نیز دبی خروجی کل شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها ۲ ساله‌ها با هم، ۵ ساله‌ها با هم و ۱۰ ساله‌ها نیز باهم مقایسه شده‌اند. سناریو اول بدون راهکار مدیریتی

است و در میان آن‌ها پشت‌بام سبز بهترین راهکار و عملکرد را دارد. با توجه به شکل‌های (۵) و (۷) شبکه در حالت بدون BMP برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله دارای ۱۸٪ پس‌زدگی بود که این مقدار با اجرای سناریو پشت‌بام سبز پس‌زدگی جریان به ۱٪ شبکه کاهش یافت. در شکل‌های (۷) و (۸) پس‌زدگی جریان به رنگ سبز برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با اجرای سناریوهای سلول ماند بیولوژیکی و پشت‌بام سبز نشان داده شده است.

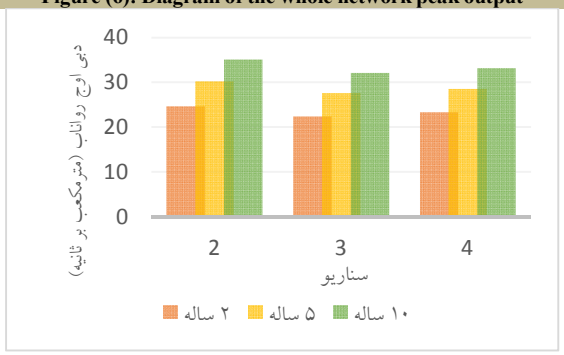
جدول (۱۰): درصد تغییرات رواناب کل شبکه (سناریوهای کمی)

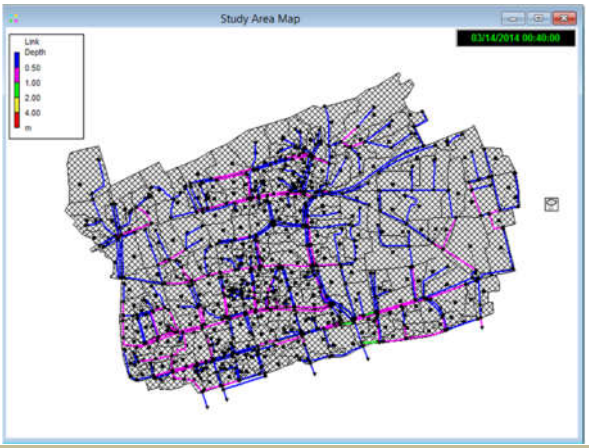
Table (10): Percentage of total runoff variations (quantity scenarios)

سناریو	نوع BMP	درصد کاهش پیک رواناب در دورهٔ بازگشت		
		۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله
۲	سلول بیولوژیکی	-۱۴/۴۴	-۱۵/۵۶	-۱۶/۲۰
۳	پشت‌بام سبز	-۱۷/۸۰	-۱۸/۴۰	-۱۸/۸۰
۴	جوی- باغچه	-۹/۴۸	-۱۰/۶۰	-۱۱/۳

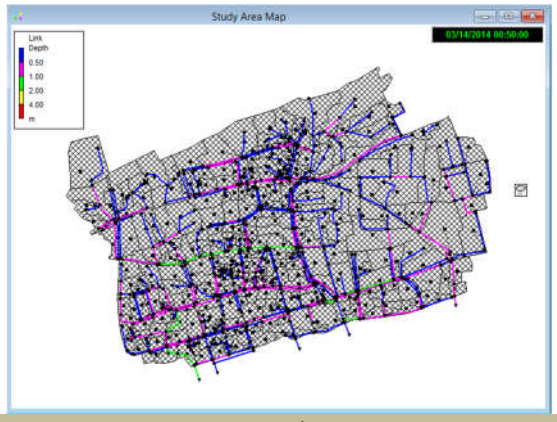
شکل (۶): نمودار دبی اوج خروجی از کل شبکه

Figure (6): Diagram of the whole network peak output





شکل (۷): پس‌زدگی جریان به رنگ سبز برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با اجرای سناریو پشت‌بام سبز



شکل (۸): پس‌زدگی جریان به رنگ سبز برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با اجرای سناریو سلول ماند بیولوژیکی

تحلیل کیفی یافته‌های پژوهش

در جدول (۱۱) درصد تغییرات پارامترهای کیفی در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله آورده شده است. با توجه به این جدول LIDها بیشترین تأثیر (بیشترین کاهش) را بر روی شاخص کیفی PO4 دارند. راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز نیز بیشترین درصد کاهش را بر روی شاخص‌های کیفی BOD و COD دارد. سلول ماند بیولوژیکی نیز بیشترین تأثیر را بر روی شاخص‌های کیفی NO3 و PO4 دارد. در شکل (۹) نمودار تغییرات BOD برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با در نظر گرفتن LIDها نشان داده شده است. با توجه به نتایج قسمت کمی و کیفی، پشت‌بام سبز به‌عنوان بهترین راهکار مدیریتی برای مدیریت کمی و کیفی رواناب شهر بندرعباس انتخاب می‌گردد.

۹۶

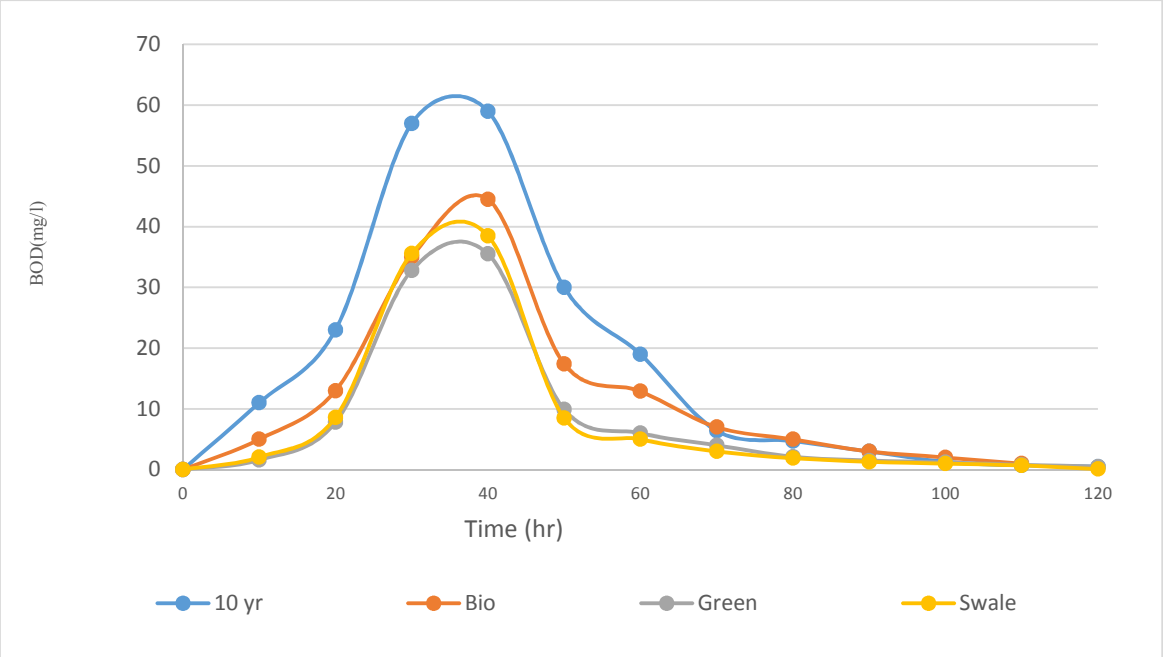
جدول (۱۱): درصد تغییرات پارامترهای کیفی در کل شبکه در دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله

Table (11): The percentage change in quality parameters across the network over the 10-year return period

شاخص کیفی	درصد کاهش پارامتر کیفی در		
	سناریو ششم	سناریو هفتم	سناریو هشتم
BOD	٪۲۴/۵	٪۳۹/۸	٪۳۴/۸
COD	٪۲۲/۲	٪۲۷/۸	٪۱۰
NO3	٪۳۶/۲	٪۲	٪۲۸/۱
PO4	٪۶۰/۵	٪۵۹/۲	٪۵۲/۶

شکل (۹): نمودار تغییرات BOD برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله با در نظر گرفتن LIDها

Figure (9): graph BOD changes for the return period of 10 years by taking LID



بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور کنترل بهتر حجم سیلاب و آلاینده‌ها سه راهکار مدیریتی سلول ماند بیولوژیکی، پشت‌بام سبز و جوی- باغچه در بخشی از حوضهٔ آبریز شهر بندرعباس بررسی شد. برای این کار از مدل EPA-SWMM استفاده شد. آنالیز حساسیت سه پارامتر شیب حوضه، ضریب زبری و درصد نفوذناپذیری نشان داد که درصد نفوذناپذیری بیشترین حساسیت را در پیک رواناب خروجی پدید می‌آورد. نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که این مدل دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زهکشی رواناب شهری در منطقهٔ مورد مطالعه استفاده کرد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل در دورهٔ بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله نیز نشان داد که دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه با دبی اوج حاصل از روش استدلالی در دورهٔ بازگشت‌های مختلف به هم نزدیک است. با توجه به اینکه غالباً دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله برای طراحی شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که در این دورهٔ بازگشت، راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز با کاهش ۱۸/۸درصدی دبی پیک در تحلیل کمی بهترین کارایی را دارد، به‌طوری‌که شبکه در حالت بدون BMP برای دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله دارای ۱۸٪ پس‌زدگی بود که این مقدار با اجرای سناریو پشت‌بام سبز پس‌زدگی جریان به ۱٪ کل شبکه کاهش یافت. همچنین در همهٔ راهکارهای مورد بررسی با افزایش

دورهٔ بازگشت، درصد کاهش پیک رواناب افزایش می‌یابد. از دیگر نتایج این تحقیق این است که با توجه به نتایج کیفی راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز پارامترهای BOD و COD و همچنین PO4 را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. بنابراین راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز به‌عنوان بهترین راهکار در کاهش پیک و بار آلودگی در محدودهٔ مورد مطالعه انتخاب گردید. شایان ذکر است که افزایش سرانهٔ فضای سبز شهر بندرعباس با استفاده از سامانهٔ بام سبز امری قابل تحقق است (مرادی، ۲۰۱۷). نتایج این تحقیق درخصوص کاهش حجم سیل و بار آلودگی با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی با تحقیق‌های دیگر مثل مظفری (۲۰۱۷) و طاهریون (۲۰۱۷) همخوانی دارد. بنابراین با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی می‌توان توسعهٔ شهری را با کمترین اثرات منفی رواناب‌های شهری بر روی مناطق پایین‌دست پیش برد و کاهش کیفیت منابع آب سطحی را به حداقل رساند.

منابع

1. Ardeshir, A., 2017. Management of stormwater collection systems and flood control. Amirkabir university of technology (Tehran polytechnic), Tehran, iran.
2. Bahrami, Jamil, Farooghi, Farzin, Hosseini, SeyedAmir, & Rafiee, Davood, 2017. Effects of Low-impact Development of Infiltration and Storage Facilities on Urban Runoff Management in City of Sanandaj, Journal of Water & Wastewater 5, 118-124.
3. Boroomand nasab, S., & Jallalvand, A., 2012. Urban hydrology, hydraulics and storm water guality. Shahid chamran university press, Ahvaz, Iran.
4. Bárdossy, A., Charlet, L., Georgakakos, K.P., Syme, G., Corradini, C., & Kitanidis, P.K., 2013. Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modeling. Journal of Hydrology 485, 1–4.
5. Chang, N., Lu, J., Fong May Chui, T., & Hartshorn, N., 2018. Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions. Land Use Policy 70, 368.-383.
6. First stage studies of water supply and recycling in goursoozan, Geological and geomorphological characteristics. 2015. Padidab Sepahan Consulting Engineer 5, 53 pp.
7. Fryirs, K., & Brierley, G., 2013. Geomorphic Analysis of River Systems book (an approach to reading the landscape). Wiley black-well press, 320pp.
8. Geberemariam, T.K., 2015. Urban Drainage Infrastructure Design Model Calibration and Output Uncertainty Minimization. Are Model Users Pursuing Accuracy and Model Calibration? Inter. J. Sci. Engin. Res. (IJSER). 3: 11. 2347-3878.
9. Geosyntec Consultants, 2010. Stormwater BMP Guidance Tool- A Stormwater Best Management Practices Guide for Orleans and Jefferson Parishes. Prepared for Bayou Land and Louisiana, 142 pp.
10. Heydarzadeh, Maryam, Nohegar, Ahmad, Malekian, Arash, & Khurani, Asadollah, 2017. Assessment and Sensitivity analysis quantity of runoff and drainage system in coastal urban area (Case study: Bandar Abbas coastal city), Journal of Water and Soil Conservation 24, 203-217.
11. Jurczak, T., Wagner, I., Kaczkowski, Z., Szklarek, S., & Zalewski, M., 2018. Hybrid system for the purification of street stormwater runoff supplying urban recreation reservoirs. Ecological Engineering 110, 67-77.
12. Kamali, K., Eslami, A.R., Jalali, N., Mostafaei, A., Jalalediny, S.M.S., Ghiasi, N., & Seyedi, E., 2013. Principals of floodwater spreading on aquifers. Soil conservation and watershed management research institute publication, Tehran, iran.
13. Mao, X., Jia, H., & Yu, S., 2017. Assessing the ecological benefits of aggregate LID-BMPs through modelling. Ecological Modelling, 353, 139-149.
14. Moradi, A., & Mohammadi Ghafari, P., 2017. Sustainable Urban Development Using Green Roofing (Case Study of Bandar Abbas city). Quarterly technical and specialized of Berkeh. Hormozgan Province Construction Engineering Organization 9, 8-13.
15. Mozaffari, J., kobarfard, M., 2017. Investigation of qualitative and quantitative management at urban flood with EPA-SWMM model: Case study district 22 of Tehran. Journal of Irrigation and water engineering 27, 47-59.
16. Taheriun, M., Falahi Zarandi, A., & Asadollahe fardi, Gh., 2016. Identifying the appropriate scenario, The best management

۹۸

practise in quantitative and qualitative urban runoffs taking into account economic considerations Journal of Iran Water Research 21, 85-96.
17. Tahmasebi Birgani, Y., & Yazdandoost, F., 2018. An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique. Water Resour Manage 32, 2817–2835.
18. Rashidi mehrabadi, Mohammad hosein, Saghafian, Bahram, & Bazargan lari, Mohammad Reza, 2017. Best management practices (BMPs) site selection for reducing urban surface runoff at target locations. Desalination and water treatment, 94, 109-119.
19. Recanatesi, F., Petroselli, A., Nicolina, M., & Leone, A., 2017. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). Journal of Environmental Management 201, 6-18.
20. Rossman, L.A., 2005. Storm Water Management Model user manual. National Risk Management Research Laboratory. Office of Research & Development United States Environmental Protection Agency.
21. Water and wastewater standards and projects. 2017. Guidelines for design of wastewater collection systems. Supersedes publications No. 118-3, 162 pp.
22. Zandi dareh gharibi, F., khorsandi kouhanestani, Z., mozayan, M., & Arman, N., 2017. Evaluating the proficiency of GR2M and GR4J rainfall-runoff models in darehtakht basin runoff simulation. Watershed engineering and management, 360-370.

Improving Management of Urban Storm Water Qualitatively and Quantitatively in Bandar Abbas Using Best Management Practices (BMPs)

Nasim ghashghaeezadeh[1], Abbas moradi[2]*, Arash malekian[3], Arashk holisaz[4], Rasool mahdavi[5]

Received: 13/11/2018 Accepted: 18/02/2023

Extended Abstract

Introduction: The development of urbanization and the increase of impervious surfaces, especially in arid and semi-arid regions with little atmospheric precipitation and a large volume of produced runoff, increases the risk of flooding, which is one of the most dangerous natural disasters. The main purpose of this research is to investigate and compare the performance of methods to improve the optimal management of runoff quantity and quality in Bandar Abbas city. Therefore, by simulating the operation of the surface runoff drainage system, it has been tried to identify the areas susceptible to flooding and to investigate the best operational solutions to reduce the flood volume and control the pollution load.

1. PhD Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran; moradi@hormozgan.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Magement, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
5. Associate Professor, Department of Range and Watershed Magement, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
DOI: 10.22052/deej.2023.248013.0

Materials and Methods: In order to analyze the hydrological information, using the digital elevation model (DEM) of the region, the slope and the direction of the slope were calculated and the border of the sub-basins of the study area was determined. Then, using the urban land use map, the area of impervious surfaces was calculated. In this study, SCS, Hazen-Williams, and Dynamic Wave methods were used to calculate infiltration, loss, and trending, respectively. Also, qualitative sampling was done at the place of flow measurement simultaneously with precipitation events. At the same time as rainfall events, qualitative sampling was done at the place of flow measurement. The samples taken in the laboratory were qualitatively analyzed and the parameters of BOD, COD, NO3 and PO4 were measured. In order to provide the required quantitative data, the total runoff flow was measured in five rainfall events. After preparing the rainfall data related to the synoptic station, the aforementioned data along with other measurements made in the study area were entered into the SWMM model and the simulated discharge values were obtained. Then the values simulated by the model were compared with the measured real values. For this purpose, using the EPA-SWMM software, three management solutions of bioretention cells, green roof, and swale, were evaluated. Also, in order to analyze the sensitivity of the model, three parameters of channel slope, channel roughness coefficient and percentage of impermeability were checked on the results of the model and it was found that the percentage of impermeability creates the highest sensitivity in peak runoff. In this research, in order to better control the volume of floods and pollutants, three management practices of bioretention cells, green roof, and swale, were investigated in a part of the catchment area of Bandar Abbas city. For this purpose, the EPA-SWMM model was used. The obtained results of the validation showed that this model has the required accuracy for simulating urban runoff and this model can be used for urban runoff management plans and the design of the urban runoff drainage network in the study area.

Results and discussion: The results of the validation of the model in the 2, 5 and 10-year return period also showed that the peak discharge of the hydrograph of the basin outlet is close to the peak discharge obtained from the reasoning method in the different return periods. Considering that a 10-year return period is often used to design the surface water collection network, the results showed that in this return period, the green roof management solution has the best performance because it decreased 18.8% peak discharge in quantitative analysis. Also, the results showed that in all solutions, the percentage of peak runoff reduction increases with the increase of the return period. Another result of this research is that according to the qualitative results, the green roof management solution can significantly reduce BOD, COD and PO4 parameters. Therefore, the green roof management solution was chosen as the best solution to reduce the peak and load of pollution in the study area.

Based on previous researches, the per capita increase of green space in Bandar Abbas city can be realized by using the green roof system. The results of this research related to the reduction of flood volume and pollution load using the best management solutions are consistent with other studies conducted in this field. Therefore, by using the best management solutions, it is possible to promote urban development with the least negative effects of urban runoff on the downstream areas and to minimize the decrease in the quality of surface water resources.

Keywords: Best Management Practices, Bioretention Cell, Green Roof, Swale, Urban Flood.