



## بررسی عملکرد و بهینه سازی جانمایی روش های نوین مدیریتی (LID-BMP) در بهبود کمیت

### رواناب سطحی شهر تهران-مطالعه موردی منطقه ۲۲

سودابه تقی زاده<sup>۱</sup>، طاهر رجایی<sup>۲</sup>

پذیرش مقاله: ۹۸/۰۹/۱۷

دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۲۳

#### چکیده

این تحقیق مدیریت خطرپذیری سیلاب شهری را با به کارگیری روش های نوین مدیریتی شامل اجرای ترانسه های نفوذ، مخازن نگهداشت دائمی زیستی و روسازی های نفوذپذیر در شبکه جمع آوری آب های سطحی ارائه می نماید. مدل بهینه سازی چندهدفه ارائه شده در این تحقیق با استفاده از الگوریتم MOPSO چندهدفه توسعه یافته که با مدل شبیه سازی شبکه جمع آوری آب های سطحی توسط نرم افزار SWMM ترکیب شده است. کاربرد روش پیشنهادی بر روی مطالعه موردی شبکه جمع آوری آب های سطحی منطقه ۲۲ تهران تشریح شده است که شامل چهار سناریو مختلف می باشد؛ سناریو اول به بررسی عملکرد روش های نوین مدیریتی در بهبود کمیت رواناب سطحی بدون استفاده از BMP پرداخته شده است و سناریوهای دوم، سوم و چهارم به ترتیب از BMP های شامل ترانسه نفوذ، مخازن نگهداشت دائمی زیستی و روسازی نفوذپذیر، که در شش، چهار و دو درصد از زیر حوضه ها برای دوره بازگشت دو، پنج و ۱۰ ساله اعمال شده، استفاده گردیده است. نتایج مدل سازی نشان می دهد که مخازن نگهداشت زیستی نسبت به ترانسه های نفوذ و روسازی های نفوذپذیر، توانایی بیشتری در کاهش دبی پیک دارد. همچنین با افزایش دوره بازگشت از تاثیر BMPs کاسته می شود بطوری که مخازن نگهداشت زیستی ۱۰٪ بیشتر از ترانسه های نفوذ و حدود ۲۰٪ بیشتر از روسازی های نفوذ پذیر در کاهش دبی پیک تاثیر گذار می باشند. هدف مدل بهینه سازی کاهش دبی پیک می باشد که نتایج نشان می دهد به کارگیری ترکیب بهینه هر سه رویکرد نوین، منجر به کاهش ۵۱٪ تا ۵۴٪ دبی پیک نسبت به موثربخش ترین BMP می شود.

کلیدواژه ها: LID-BMP، رواناب سطحی، تهران، نرم افزار SWMM

۱. کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم Soudabeh.taghizadeh@yahoo.com

۲. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم Trajaee@qom.ac.ir

## ۱. مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه کشاورزی و صنایع از یک سو و محدود بودن منابع آب تجدیدپذیر قابل دسترس در سطح جهان از سوی دیگر، سبب شده است تا سرانه آب قابل دسترس، مرتبا کاهش یافته و بعضی از نقاط جهان، با تنش آبی مواجه شوند. در چنین وضعیتی، اهمیت منابع جدید آب، بیش از پیش نمایان گردیده است. در شهر تهران، معمول ترین و مهم ترین منابع آب تجدید پذیر، پس از فاضلاب شهر، رواناب‌های سطحی می‌باشد که بسته به کاربرد مورد نظر و خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی رواناب، نیازمند صدور برخی مجوزها از سوی سازمان‌های ذیربط، از جمله سازمان محیط زیست می‌باشد.

بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs) بهترین روش برای مدیریت، جلوگیری، کنترل، حذف، کاهش یا تصفیه رواناب شهری و آلودگی رواناب قبل از ورود آلاینده‌ها به آب‌های دریافت کننده هستند که شامل برنامه‌ها، روش‌ها یا راهکارهای عملکردی، سیستم‌های مهندسی، تکنولوژی‌ها، فرآیندها و معیارهای مکان یابی هستند. BMPها می‌توانند غیر سازه‌های باشند از جمله: کاهش عرض جاده و حذف پیاده روها یا می‌توانند سازه‌های باشند که از راهکارهای کوچک مختص یک مکان تا راهکارهای منطقه‌ای بزرگ مقیاس را شامل می‌شوند.

یکی از معضلات کنونی شهر تهران، بحث آلودگی نهرها است که یکی از مهم‌ترین عوامل آن ورود رواناب‌های سطحی آلوده و باکیفیت پایین در حجم بالا به نهرها می‌باشد. یکی از مشکلاتی که در مورد رواناب‌های سطحی شهر تهران وجود دارد، وجود داده‌های پراکنده و غیرمتمرکز در مورد کمیت رواناب سطح شهر می‌باشد. باید اذعان کرد که برای مدیریت رواناب شهر تهران ابتدا باید داده‌های مناسبی را در این زمینه جمع‌آوری کرده و برداشتی از وضعیت موجود داشت تا بتوان بهترین راهکارها را برای حل این مسئله پیشنهاد و طراحی کرد (قنبری عدیوی و تجریشی، ۱۳۹۰).

یک مطالعه موردی بر روی سایت تالاب سایلرگراو در حوضه

ویسایکن فیلادلفیا، در پنسیلوانیا انجام داده‌اند. در این تحقیق استفاده از مدل اثربخشی سیستم‌های BMP و ارزیابی هزینه چرخه عمر برای منطقه تالاب، نتایج کیفیت آب، کمیت و محاسبات هزینه‌ها بحث شده است. (Reynolds S. et al. 2012).

مطالعه ای بر روی منطقه مسکونی دهکده المپیک پکن در چین صورت گرفته شده است. در مقاله‌ای، به ارائه تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی اجرای توسعه کم اثر و بهترین شیوه‌های مدیریت با استفاده از مدل BMPDSS (برای شبیه‌سازی عملکرد BMPها و بهینه‌سازی جایگذاری و طراحی آنها) و SWMM (Storm Water Management Model) به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه لوله‌ها) برای کنترل رواناب شهری پرداخته‌اند. در این تحقیق برخی از LIDها و BMPها مانند آسفالت متخلخل، بام سبز و مخازن نگهداری آب باران انتخاب شده‌اند (H, Jia. Et al. 2012).

یک سیستم شاخص انتخاب چند معیاره (MCIS) برای برنامه‌ریزی LIDها و BMPها توسعه داده شده است. شاخص انتخاب شامل ۱۲ شاخص در سطح اول و ۲۶ شاخص در سطح دوم است که منعکس کننده ویژگی‌های خاص سایت نصب و راه اندازی مربوط به مناسب بودن سایت، عملکرد کنترل رواناب و هزینه‌های پیاده‌سازی می‌باشد. (H, Jia. Et al. 2013).

مطالعه ای به منظور تخمین هیدرو گراف خروجی برای یک رخداد بارندگی و همچنین تخمین بار آلودگی در حوضه آبریز کانال سیل برگردان غرب تهران با استفاده از مدل SWMM اقدام به شبیه‌سازی بارش - رواناب نموده و سناریوهای مختلف مدیریتی جهت کاهش دبی اوج و بار آلاینده کانال نموده‌اند (میرآخوری، ش. و همکاران، ۱۳۹۲).

در تحقیقی اثرات ۱۰ ساله طرح اجرای سیستم مانند بیولوژیکی، جوی باغچه و تالاب به منظور نگهداری رواناب به عنوان منبع آب مصرفی غیر شرب، در شهرک اوریتال سان سیتی ۳ در شرق پکن در چین را بررسی کرده‌اند. پیش از اجرای این طرح این شهر از معضلات زیست محیطی نظیر

SUSTAIN برای تعیین کمترین هزینه برای طراحی LID-BMPs در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت که توانست ۶۰٪ حجم جریان را کنترل کند (Xuhui Mao. et al. 2017).

مطالعه ای با بررسی بهترین روشهای مدیریتی بر روی شهر تهران جهت کاهش و کنترل سیلاب شهری با مدل SWMM برای دوره های بازگشت ۵،۲ و ۱۰ ساله، کاهش ۳۳ تا ۴۵ درصدی حجم رواناب در نتایج استخراج شد (منتظر الحجه، ۱۳۹۶).

در مطالعه ای دیگر با هدف رسیدن به یک راهکار کاربردی جهت کنترل رواناب شهری با استفاده از قابلیت های مدل SWMM برای منطقه ۴ شهر تهران، با توجه به عوامل محیطی، دو طرح از بهترین راهکارهای مدیریتی تحت سناریوی شبکه نفوذ و مخازن تاخیری جهت کنترل حداکثر رواناب از نظر کمی انجام گرفته است و در نهایت میزان کارایی آنها در کاهش حجم کل رواناب خروجی از حوضه، مورد بررسی قرار گرفته است (مختارپور، ا. و همکاران، ۱۳۹۷).

در تحقیقی دیگر، یک بررسی ادبی از ارزیابی محیطی و اقتصادی توسعه کم اثر از بهترین شیوه های مدیریت از طریق دیدگاه چرخه حیات ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که ارزیابی چرخه حیات یا هزینه چرخه حیات برای توسعه کم اثر به طور گسترده ای مستند می باشد. همچنین برای حمایت از تحقیقات جامع تر، بایستی یک پایگاه اطلاعاتی مبتنی بر شیوه های مدیریتی با توسعه کم اثر بر اساس مناطق خاص نیز ایجاد شود. در نهایت، نوع توسعه بهترین شیوه های مدیریتی می تواند مزایای مختلفی برای اکوسیستم شهری ارائه دهد. محققان باید ترکیبی از مزایای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی را از توسعه کم اثر از بهترین شیوه های مدیریت برای تحقق بخشیدن به ثبات ارائه دهند (changing Xu. et al. 2019).

نتایج حاصل از بررسی مطالعات انجام شده نشان می دهد که

تغذیه گرای، خطر سیلابی شدن، کمبود آب و هزینه های بالای نگهداری آب رنج می برده است (Wu Che, 2014). مطالعه ای با استفاده از مدل SWMM به شبیه سازی کمی و کیفی رواناب و با استفاده از MOPSO به بهینه سازی جانمایی BMPها به منظور کاهش دبی رواناب و آلاینده های موجود در آن منطقه ۱۰ تهران صورت گرفته است. BMPهای مورد استفاده در این پژوهش جوی باغچه و روسازی نفوذپذیر می باشند. در پایان توانایی روش پیشنهادی در برآورد خصوصیات کمی و کیفی رواناب با وجود ترکیب های مختلف BMPها و امکان انتخاب ترکیب مناسب را نشان می دهد (بهروزی، ا. و همکاران ۱۳۹۲).

در تحقیق دیگری با بررسی رشد جمعیت و توسعه شهری و تبدیل بی رویه اراضی مجاور تاثیر نامطلوب آن را در هیدرولوژی مناطق شهری که موجب تشدید سیلابها، افزایش آلودگی رواناب های ایجاد شده، افزایش ضریب رواناب و کاهش تغذیه آبهای زیر زمینی می گردد ارزیابی نمودند. همچنین مطالعاتی در بخشی از منطقه ۲۲ تهران را با استفاده از مدل EPA SWMM با روش های مدیریت کمی و کیفی رواناب شهری انجام و مورد ارزیابی قرار گردید (مظفری و همکاران، ۱۳۹۶).

در مطالعات با استفاده از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی به دنبال تبیین راهبردهایی اجرایی از رویکرد LID جهت بهره گیری از سطوح قابل نفوذ، استفاده از رواناب ها برای آبیاری پوشش گیاهی اقدام نمودن (Generino, 2015).

در مطالعه ای دیگر برای تعیین حجم جریان سالانه، سرعت حداکثر جریان و بارهای آلاینده سالانه COD، TSS، TN و TP به عنوان عوامل ارزیابی، مزایای زیست محیطی، LID-BMPهای شامل شبکه های باران، بام های سبز، مخازن نگهداشت دائمی زیستی، روکش های نفوذپذیر، جوی باغچه ها و حوضچه ای نگهداشت موقت مرطوب بود، طراحی شدند. نتایج نشان داد که حجم جریان بیش از ۴۰٪ و تمام بارهای آلاینده بیش از ۶۰٪ کاهش می یابند. مدل بهینه سازی

به صورت یک دشت در جنوب و شرق ارتفاعات البرز جنوبی گسترده شده است از این رو بالغ بر ۶۰ درصد از منطقه در ارتفاعات ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ متر قرار گرفته است و تقریباً می توان گفت سایر سطوح در ارتفاعات ۱۴۰۰-۱۳۰۰ متر واقع شده است و سهم ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ متر در منطقه بسیار اندک و نامحسوس می باشد.

باین وجود در این منطقه، خط تراز ۱۴۰۰، بخش عمده اراضی با شیب زیاد و غیرقابل استفاده را خارج از محدوده ساخت و ساز قرار داده است. اما شمال منطقه دربرگیرنده ارتفاعات بیش از ۱۴۰۰ متر تا ۲۶۰۰ متر می گردد که به عنوان یک عامل طبیعی در مرز شمالی منطقه محسوب می گردد.

ج) میزان و جهت شیب: بیش تر سطوح منطقه در سطوح ارتفاعی پایین به صورت یک دشت واقع شده است. از این رو غالب نقاط که دربرگیرنده حدود ۵۵ درصد از سطوح منطقه می شود، دارای شیب ملایم کمتر از ۵ درصد که جهت عمومی آن از شمال به جنوب است، می باشد. اما با توجه به ابعاد وسیع منطقه ۲۲ و تنوع در بستر طبیعی آن، شیب های مزاحم ۱۰ الی ۱۵ درصد در شمار عوامل مهم محدودکننده استفاده از زمین در بعضی قسمت های منطقه به خصوص در مرز شمالی محسوب می شود. از طرف دیگر نقاط دارای شیب زیاد ۱۵ الی ۴۰ درصد در غرب منطقه واقع شده است که غالب ارتفاع آن نیز خط تراز ۱۴۰۰ می باشد. شیب غالب منطقه شمال به جنوب بوده اما شیب های جنوب غربی و جنوب شرقی از نظر سهم سطوحی که به خود اختصاص داده اند در مراتب بعد قرار می گیرند.

د) خاک شناسی: منطقه ۲۲ با توجه به نوع حوضه بندی دارای سه نوع خاک لیتوسلی نیمه مرطوب، خاک های استپی قهوه ای و خاک های آبرفتی غیر نمکی می باشد.

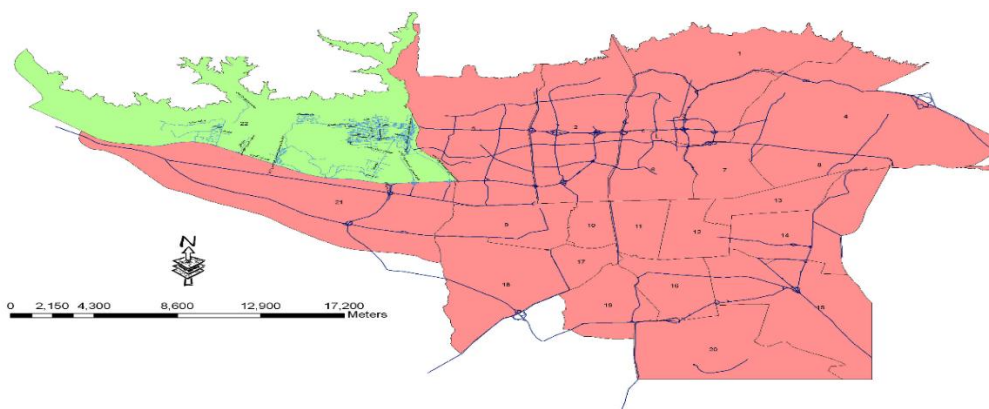
انطباق خوبی بین رواناب شبیه سازی و مشاهدات عینی وجود دارد و این موضوع می تواند نشان دهنده این باشد که مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه سازی رواناب شهری دارد و می توان از این مدل برای طرح های مدیریت رواناب شهری و طراحی بهترین روش های مدیریتی در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. علاوه بر این می توان از الگوریتم PSO برای برآورد مقادیر بهینه پارامترها از نظر کیفی و کمی استفاده نمود. کاربرد MOPSO در مسائل مطرح در مهندسی آب محدود بوده است به طوری که تعداد مطالعاتی که از الگوریتم مذکور استفاده نموده اند انگشت شمار است.

مقاله حاضر با هدف بررسی پتانسیل استفاده از روش های نوین مدیریتی و تدوین مدل بهینه سازی به منظور به حداقل رساندن دبی رواناب، جهت استفاده از توابع بهینه سازی در تعیین مناسب ترین سیستم کنترل کمی رواناب ها در منطقه ۲۲ شهر تهران صورت گرفته است.

#### ۱-۱. منطقه مورد مطالعه

الف) محدوده (مختصات و وسعت): منطقه ۲۲ شهرداری تهران بین طول های شرقی "۵۱ ۵' ۱۰" تا "۵۱ ۲۰' ۴۰" و عرض های شمالی "۳۵ ۳۲' ۱۶" تا "۳۵ ۵۷' ۱۹" در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین دست حوضه آبریز رودخانه کن و وردیج واقع شده است. منطقه ۲۲ تهران وسعتی حدود ده هزار هکتار را دارا می باشد. این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در شرق با حریم رودخانه کن، در جنوب با آزادراه تهران-کرج و در غرب با محدوده جنگل های دست کاشت وردآورد محدود می گردد و با مناطق ۵ و ۲۱ شهرداری تهران هم جوار است به این ترتیب مرز شمالی منطقه ۲۲ شهرداری تهران تا منتهی الیه دامنه های جنوبی البرز تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری توسعه یافته است.

ب) توپوگرافی و خطوط ارتفاعی: اراضی منطقه ۲۲



شکل ۱. موقعیت منطقه ۲۲ در تهران (مطالعات تفصیلی شهرداری منطقه ۲۲ تهران، ۱۳۸۵)

## ۲. مواد و روش ها

### ۲-۱. مدل هیدرولوژیکی

مدل SWMM با مشارکت شرکت مهندسی متکف و ادی (Metcalf and Eddy, Inc)، دانشگاه فلوریدا (University of Florida) و شرکت مهندسی منابع آب (Water resources Engineers, Inc) برای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده و به منظور شبیه سازی پدیده های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب، طی سال های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ تهیه گردید. در این مطالعه از مدل SWMM به منظور شبیه سازی هیدرولوژیکی رواناب استفاده شده است. این نرم افزار قادر به شبیه سازی در یک زمان و دوره های طولانی و مدل های سطحی و زیرسطحی است. در این نرم افزار تأثیر برف در حوضه های شهری و داده های اقلیمی مانند باد، دما و تبخیر از حوضه نیز می توانند در شبیه سازی وارد شوند. همچنین می توان تأثیر استفاده از سیستم های زهکشی طبیعی و پایدار در شهرسازی را بر کاهش رواناب حاصل از بارش مدل سازی کرد. این نرم افزار علاوه بر مدل سازی کمیتی قادر به شبیه سازی کیفیتی نیز است و با استفاده از این قابلیت تولید و کاهش آلودگی در سطح حوضه را می توان شبیه سازی کرد.

### ۲-۲. مدل بهینه سازی

الگوریتم PSO اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهارت و کندی مطرح شد. این روش از پرواز گروهی پرندگان و شنای گروهی ماهی ها و زندگی اجتماعی آنان الهام گرفته است که با

استفاده از یک سری روابط ساده فرمول بندی شده است. مانند همه الگوریتم های تکاملی دیگر، PSO نیز با ایجاد یک جمعیت تصادفی از افراد شروع می شود که در اینجا به عنوان یک گروه از ذرات خوانده می شوند. مانند آنچه در همه الگوریتم های تکاملی وجود دارد، هر ذره در گروه، مجموعه مختلف از پارامترهای نامشخص است که باید مقادیر بهینه آن ها تعیین شود. در واقع هر ذره یک نقطه از فضای راه حل را ارائه می دهد. اساس الگوریتم، جستجوی فضای راه حل ها بر مبنای حرکت گروه ذره ها به سوی بهترین موقعیتی که در گذشته با آن روبرو شده اند با این امید که در این فرآیند به یک موقعیت بهتری برسند، صورت می گیرد. تفاوت بین PSO و سایر الگوریتم های تکاملی در روشی است که از طریق آن، جمعیت ایجاد شده در فضای جستجو حرکت می کند.

### ۲-۳. مدل شبیه سازی - بهینه سازی

با توجه به تحقیقات پیشین در زمینه ی روش های نوین مدیریتی به نظر می رسد هر یک از راهکارهای نوین مدیریتی به تنهایی قادر به بهبود کمیت رواناب نباشند، در نتیجه بایستی با ترکیب نمودن آن ها، مناسب ترین ترکیب که بالاترین اثربخشی را در کنترل دبی رواناب داشته باشد را به دست آورد. در این بخش با استفاده از توابع بهینه سازی به بررسی ترکیب BMPs متفاوت برای تعیین مناسب ترین سیستم کنترل کمیت رواناب منطقه ۲۲ شهرداری تهران پرداخته شده است.

آرشیو خارجی بیشتر باشد فرآیند یافتن gbest مشکل تر خواهد بود. لذا ناگزیر از کنترل ظرفیت آرشیو خارج هستیم. شایان ذکر است که ذرات به سوی نواحی نامتراکم تر حرکت می کنند. بنابراین از آن جواب غیر پستی که مقدار فاصله ازدحام بیشتری دارد استفاده می کنیم. در آرشیو خارجی جواب های غیر پست را بر اساس فاصله ازدحام و به صورت نزولی مرتب می کنیم. آنگاه در هر مرحله از چند جواب بالای آرشیو یکی را به طور تصادفی انتخاب کرده و به عنوان gbest در نظر می گیریم. این ترتیب نزولی در آرشیو خارجی در جای دیگر نیز به یاری ما می آید و آن هنگامی است که آرشیو پر باشد. در چنین مواقعی می توان از جواب های غیر پست پایین آرشیو یکی را به صورت تصادفی انتخاب نمود و جواب غیر پست جدید را که در تکرار جدید پیداشده است جایگزین آن کرد. مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده در الگوریتم MOPSO در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده در الگوریتم

MOPSO	
Value	Parameter
35	The number of decision variables
200	Maximum number of Iterations
50	Population Size
50	Repository Size
0.7	Weight inertia
1.5	Cognitive Parameter
1.5	Social parameter
0.1	Inflation Rate
2	Leader Selection Pressure
2	Deletion Selection Pressure
0.1	Mutation Rate

### ۲-۳-۱. مدل شبیه سازی - بهینه سازی کمی

پس از ایجاد ارتباط بین الگوریتم بهینه سازی و نرم افزار شبیه سازی، الگوریتم بهینه سازی وظیفه یافتن جواب های غیر پست که همان مقادیر بهینه توابع هدف هستند را بر عهده دارد. توابع هدف در نظر گرفته شده به منظور یافتن مناسب ترین درصد ترکیب BMP برای کاهش دبی پیک عبارتند از:

$$\begin{aligned} \text{Min } F_1 &= N_{\text{SMP}} \\ \text{Min } F_2 &= Q_{\text{p.out}} \end{aligned}$$

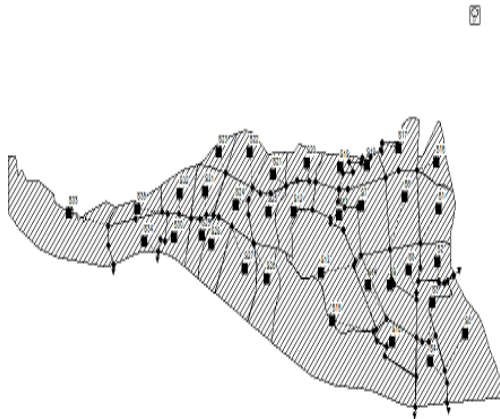
بدین منظور باید بین الگوریتم بهینه سازی و نرم افزار شبیه سازی ارتباطی برقرار کرد تا با استفاده از اجرای نرم افزار SWMM، برارزش متغیرهای تصمیم در محیط نرم افزار MATLAB توسط الگوریتم بهینه سازی پیاده شده صورت پذیرد. نحوه ایجاد تعامل بین الگوریتم MOPSO و SWMM در زیر نشان داده شده است.

```
disp('Particle Swarm Optimization Algorithm;')
disp('Programmed By: Soudabeh Taghizadeh;')
disp;('')
```

اساس کار این روش بر مبنای استفاده از یک آرشیو برای ذخیره جواب های غیر پست و همچنین استفاده از شبکه سازگار شونده برای انتخاب gbest است. در الگوریتم مذکور جواب های غیر پست در یک آرشیو خارجی ذخیره می شوند. هدف از استفاده از این آرشیو، حفظ یک سابقه تاریخی از جواب های غیر پست است که در نسل های مختلف پیداشده اند. در شروع کار الگوریتم که آرشیو خالی است اعضای جمعیت بر اساس یک مقایسه تک به تک نسبت به هم سنجیده می شوند و آن جوابی که بر همه غلبه داشت به عنوان اولین جواب غیر پست وارد آرشیو می شود. در مرحله بعد چنانچه جواب غیر پستی بخواهد وارد آرشیو شود باید با جواب موجود در آرشیو مقایسه گردد. اگر بر آن غلبه داشت وارد می شود وگرنه رد می شود و در مراحل بعدی چنانچه جوابی که می خواهد وارد شود بر برخی جواب ها غلبه داشته باشد آن ها را از آرشیو حذف می کند و جای آن ها را می گیرد. در صورتی که جواب جدیدی که می خواهد وارد آرشیو شود بر هیچ یک از جواب های داخل آرشیو غلبه نداشته باشد و توسط هیچ یک از آن ها نیز مغلوب نشود به شرط پر نبودن آرشیو وارد آن می شود. در صورت پر بودن آرشیو با استفاده از فرآیند شبکه سازگار شونده یکی از جواب های داخل آرشیو حذف شده و جواب جدید جای آن را می گیرد. بیشتر نسخه های MOPSO از آرشیو خارجی با اندازه محدود استفاده می کنند. دلیل محدود کردن ظرفیت آرشیو خارجی کنترل پیچیدگی محاسباتی است. به عبارت دیگر هر چه ظرفیت

## ۲-۴-۲. حوضه بندی منطقه

منطقه مورد مطالعه بر اساس شیب زمین و مسیرهای زهکشی سطحی به ۳۵ زیر حوضه مطابق با شکل تقسیم گردیده است.



شکل ۲. حوضه بندی منطقه ۲۲ در نرم افزار SWMM

## ۲-۴-۳. مشخصات ورودی به زیر حوضه ها

زیر حوضه ها، مساحت هایی از حوضه هیدرولوژیکی مورد نظر هستند که از نظر خصوصیات فیزیوگرافی نظیر شیب، نوع خاک و در نتیجه میزان نفوذ و همچنین نقطه خروجی به آبراهه مورد بررسی، مشابه هستند. درصد نفوذناپذیری، مقدار ضریب مانینگ برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، مقدار افت به علت ذخیره برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، اطلاعات مربوط به نفوذ، نوع کاربری زمین، معادلات تجمع آلاینده و آبشویی و... از مشخصات ورودی به زیر حوضه ها هستند.

الف) معادله نفوذ خاک: در این تحقیق برای محاسبه میزان نفوذپذیری خاک از روش هورتن استفاده شده است. تحقیقات میدانی انجام شده بر روی خاک منطقه مورد مطالعه به صورت زیر است:

- خاک های لیتوسلی نیمه مرطوب در دسته B
- خاک های استپی قهوه ای در دسته D
- خاک های آبرفتی غیر نمکی در دسته C می باشد.

$N_{SMP}$  درصد بهترین راهکارهای مدیریتی بهینه شده در زیر حوضه ها

$Q_{p.out}$  دبی پیک خروجی از حوضه (مترمکعب بر ثانیه) هدف مسئله، به حداقل رساندن مقادیر توابع هدف می باشد یعنی پاسخ هایی که منجر به کاهش توابع هدف می شوند. پاسخ های بهینه تری می باشند و از امتیاز بالاتری برخوردارند. در این مسئله مساحت های هر سه نوع BMP مورد استفاده در هر یک از زیر حوضه ها به صورت ماتریس به الگوریتم بهینه سازی اضافه شدند. متغیرهای تصمیم وجود و یا عدم وجود این راهکارها در هر یک از زیر حوضه ها می باشند. از آنجایی که تعداد زیر حوضه های مدل شده در نرم افزار شبیه سازی ۳۵ می باشد، پس تعداد متغیرهای تصمیم نیز ۳۵ است. سپس با استفاده از حلقه if متغیرهای تصمیم کدگذاری شدند. با استفاده از دستور fscanf می توان درصد BMP ها و دبی پیک محاسبه شده به ازای هر کدام از اعضای مخزن را چاپ کرد.

## ۲-۴-۴. داده های ورودی به مدل SWMM

### ۲-۴-۴-۱. ایستگاه اندازه گیری بارش

پس از بررسی مشخصات کلیه ایستگاه های سینوپتیکی استان تهران جهت بررسی پارامترهای هواشناسی منطقه ۲۲ تهران از آمار ایستگاه سینوپتیک چیتگر به ارتفاع ۱۳۰۵ از سطح دریاهای آزاد در طی سال های ۱۹۵۱ الی ۲۰۰۵ میلادی استفاده گردیده است. نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیکی به منطقه طرح، ایستگاه چیتگر با طول جغرافیایی ۵۱/۱۰ و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۴ می باشد. این در حالی است که رقوم ارتفاعی منطقه طرح از ۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ متر می باشد، بنابراین ایستگاه سینوپتیکی چیتگر نزدیک ترین ایستگاه به محدوده مورد مطالعه می باشد و از لحاظ ارتفاعی نیز بیشترین همگنی با این منطقه را دارد.



جدول ۳. مساحت و درصد سطوح پهنه‌های عملکردی [مطالعات تفصیلی شهرداری منطقه ۲۲ تهران، ۱۳۸۵]

Area(%)	Area (ha)	Types of functional zones
46	2671.44	Residential area
20	1165.67	Protected area
24	1432.61	Idle lands

(د) معادلات تجمع آلاینده و آبشویی :

• افزایش تدریجی آلاینده (Build up)

مقدار انباشتگی آلاینده که تابعی از تعداد روزهای غیر بارانی می‌باشد (جرم در واحد سطح).

• زدودن آلاینده توسط باران (wash off)

شستشو و زدودن آلاینده توسط باران که در طی بارش واقع می‌گردد.

در این مطالعه برای مدل‌سازی افزایش تدریجی آلاینده از روش تابع توانی (انباشتگی ذرات آلاینده متناسب با زمان با توان معتبر به میزان حداکثر خود می‌رسد) و برای شبیه‌سازی زدودن آلاینده توسط باران از روش تابع نمایی (افزایش تدریجی ذرات آلاینده تا رسیدن به حداکثر خود به صورت منحنی رشد نمایی) استفاده شده است. واحد ضرایب C1 و C2 در جدول ۲ و ۳ به ترتیب  $kg/100m$  و  $kg/day/100m$  طول آبرو است. ضرایب wash off بدون واحد هستند.

نفوذپذیری به روش هورتن در سال ۱۹۳۰ توسط شخص هورتن صورت گرفت. یک نمونه از کار وی به صورت معادله زیر بیان‌کننده این روش می‌باشد که میزان ظرفیت نفوذپذیری را نشان می‌دهد.

(ب) تعیین ظرفیت نفوذ:

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (۱)$$

$f_p$  = ظرفیت نفوذپذیری

$k$  = ثابت هورتون

$f_c$  = ظرفیت نهایی

این معادله نشان می‌دهد که اگر میزان بارندگی از ظرفیت نفوذپذیری خاک بیشتر شود، نفوذپذیری حالت بحرانی به خود می‌گیرد. حجم کلی نفوذپذیری و میزان جذب‌های دیگر از یک بارندگی معین ثبت‌شده توسط رسم هیدرو گراف دبی به دست می‌آید. میزان نفوذپذیری در خاک‌های مختلف به صورت جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. مقادیر  $f_1$  [Introduction to Hydrology]

Soil group	$f_1$ (in./hr)	$f_1$ (mm/h)
High (sandy soils)	0.50—1.00	12.50—25.00
Intermediate (barns, day, silt)	0.10—0.50	2.50—12.50
Low (clays, clay loam)	0.01—0.10	0.25—2.50

(ج) کاربری اراضی: در این تحقیق منطقه مورد مطالعه به سه نوع کاربری شامل مسکونی، حفاظت‌شده و بایر تقسیم می‌شود.

جدول ۴. ضرایب معادله Build up (سلطانی، م. تجریشی، م. ۱۳۸۸)

Land use						Build up
Industrial		Residential with low density		Residential with high density		
$C_2$	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$	$C_1$	
9.1635	193.7	0.9834	29.8	3.0694	74.5	TSS
0.0039336	2.98	0.000447	2.086	0.0016837	1.788	TN
0.0002384	1.49	0.0000447	0.745	0.0001788	1.043	TP

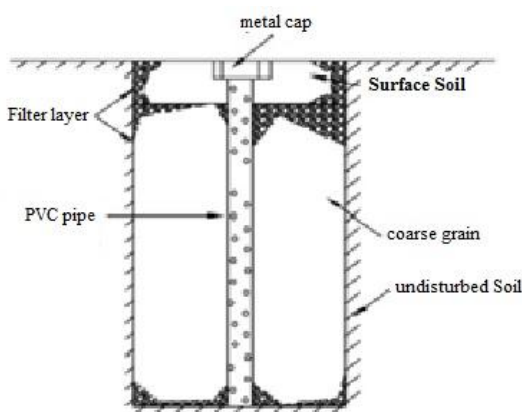


جدول ۵. ضرایب معادله Wash off (سلطانی، م. تجربی، م. ۱۳۸۸)

Land use						Wash off
Industrial		Residential with low density		Residential with high density		
C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	
2.5	0.3	2	0.4	2.2	0.7	TSS
0.8	0.2	0.7	0.1	0.4	0.3	TN
0.1	0.6	0.02	0.4	0.09	0.9	TP

ب) ترانше نفوذ:

ترانشه نفوذ یک ترانشه طویل و کم عرض است که درون آن با ذرات درشت دانه و قطعات سنگ پر می شود و معمولاً مجرای خروجی ندارد. ورودی به این تأسیسات در فضای خالی مابین ذرات درشت دانه موقتاً ذخیره می شود و به تدریج از کف و دیواره ها به درون خاک اطراف ترانشه نفوذ می کند.



شکل ۴. شماتیک ترانشه نفوذ به همراه چاهک بازدید تراز آب (طرح جامع مدیریت آب های سطحی تهران)

ج) مخازن نگه داشت دائمی زیستی (Bioretention Basin) و باغچه های باران زاد (Rain Garden):

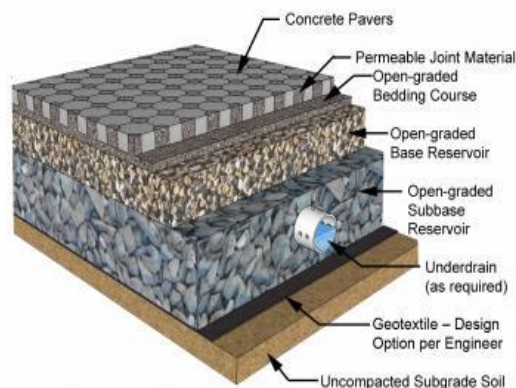
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی از یک محدوده مخزن مانند سطحی و یک لایه خاکی زیرین تشکیل می شوند. آبی که

۲-۵. معرفی BMP های استفاده شده

در این مطالعه از سه نوع BMP شامل روسازی نفوذپذیر، ترانشه نفوذ و مخازن نگهداشت دائمی زیستی برای مدل سازی در نرم افزار استفاده شده است.

الف) روسازی های نفوذپذیر:

این نوع روسازی ها هنگامی که بر روی سطح زمین قرار می گیرند، یک فضای خالی بین آن ها به وضوح قابل رؤیت می باشد که آب می تواند از میان آن ها نفوذ کند. این فضاهای باز در حدود ۸ تا ۲۰ درصد از مساحت کل سطح هستند که معمولاً با شن پر می شود. کل روسازی از یک لایه فیلتر ۳۸ تا ۷۶ میلی متری، یک لایه ذخیره و یک لایه سنگ فرش تشکیل شده است. سرعت نفوذپذیری در خاک زیر لایه ذخیره باید به گونه ای باشد که تمام رواناب جمع شده در لایه ذخیره بعد از ۲۴ تا ۴۸ ساعت تخلیه گردد.



شکل ۳. نمایی از لایه های مختلف روسازی نفوذپذیر (کمالی و تجربی، ۱۳۹۰)

مخازن نگهداشت زیستی ۱۰٪ بیشتر از ترانسه‌های نفوذ و حدود ۲۰٪ بیشتر از روسازی‌های نفوذپذیر از میزان دبی پیک کاسته اند. هرچند با افزایش دوره بازگشت‌های بارندگی از توانایی مخازن نگهداشت دائمی زیستی در کاهش میزان دبی پیک کاسته می‌شود. همچنین پس از بهینه سازی کمی منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که برای میزان شش، چهار و دو درصد BMP ها، با جایگذاری دبی‌های جانمایی شده در هر زیرحوضه، میزان درصد بهینه برای هر BMP مشخص شد. که با توجه به اینکه مخازن نگهداشت دائمی زیستی میزان دبی کمتری دارند قاعدتاً درصد کمتری از BMP ها را به خود اختصاص می‌دهند و به تبع روسازی نفوذپذیر صرف داشتن دبی بیشتر، درصد بالاتری را می‌طلبند.

۴-۱. شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بر روی کمیت رواناب نتایج مدل سازی کمی برای BMPs با سطح اشغال شش، چهار و دو درصد در هر یک از زیر حوضه های منطقه مورد مطالعه برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله در نمودارها و جداول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶. معرفی سناریوهای تحقیق

Return periods			new management approaches	scenario
%2	%4	%6		
			×	First
√	√	√	Infiltration Trenches	Second
√	√	√	Bioretention Basins	Third
√	√	√	permeable pavements	Fourth

در لایه بالایی سیستم جمع می‌گردد، از لایه‌های علف کاری شده سطحی (Surface vegetation)، لایه گیاهی (Mulch layer) و به سمت تخلیه گاه با یک کانال خروجی هدایت می‌شود. کانال خروجی می‌تواند به کانال پایین دست تخلیه گردد یا وارد یک مخزن شود. در بالادست این گونه سازه‌ها غالباً از سیستم‌های پیش تصفیه و رسوب‌زدائی اولیه همچون فیلترهای گیاهی در پیرامونی (Perimeter grass filter) و جوی باغچه‌ها (Grass swale)، استفاده می‌شود.



شکل ۵. حوضچه زیستی تازه کاشته شده پس از دریافت رواناب (طرح جامع مدیریت آب های سطحی تهران)

### ۳. معرفی سناریوها

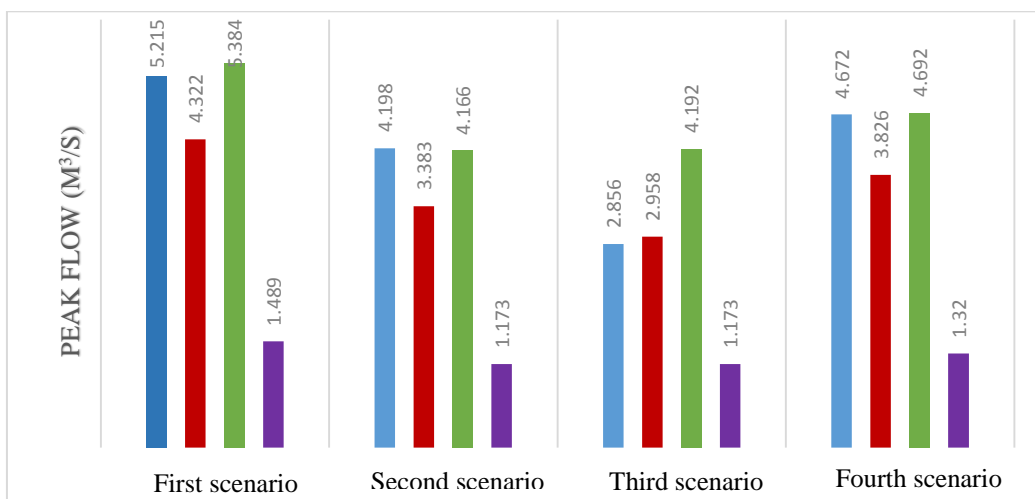
در این تحقیق چهار سناریو برای شبیه‌سازی هیدرولیکی کمیت رواناب‌ها در نظر گرفته شده است (جدول ۶)

### ۴. نتایج و بحث

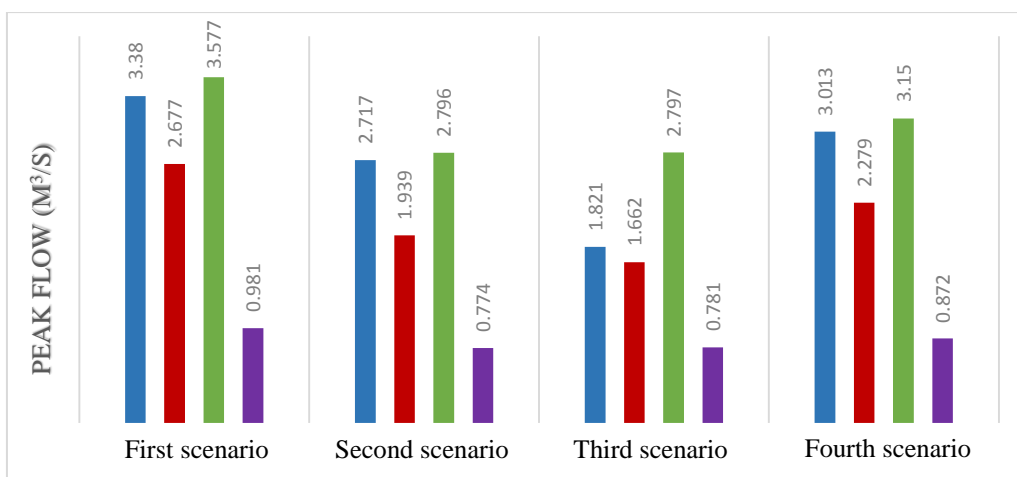
پس از شبیه‌سازی کمی منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که مخازن نگهداشت دائمی زیستی به‌منظور کاهش دبی پیک در مقایسه با ترانسه‌های نفوذ و روسازی‌های نفوذپذیر از کارایی بیشتری برخوردارند. بدین صورت که

جدول ۷. نتایج مدل سازی کمی برای BMP با سطح اشغال ۶ درصد

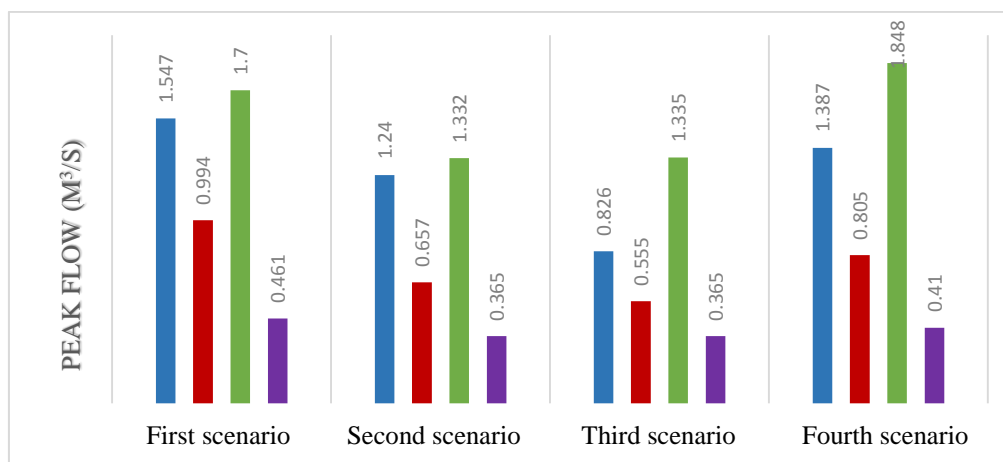
6 percent of the sub basins- return period of 10- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
4.672	2.856	4.198	5.215	1
3.826	2.958	3.383	4.322	2
4.692	4.192	4.166	5.384	3
1.320	1.173	1.173	1.489	4
6 percent of the sub basins- return period of 5- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
3.031	1.821	2.717	3.380	1
2.279	1.662	1.939	2.677	2
3.150	2.797	2.796	3.577	3
0.872	0.781	0.774	0.981	4
6 percent of the sub basins- return period of 2- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
1.387	0.826	1.240	1.547	1
0.805	0.555	0.657	0.994	2
1.848	1.335	1.332	1.700	3
0.410	0.365	0.365	0.461	4



(الف)



(ب)



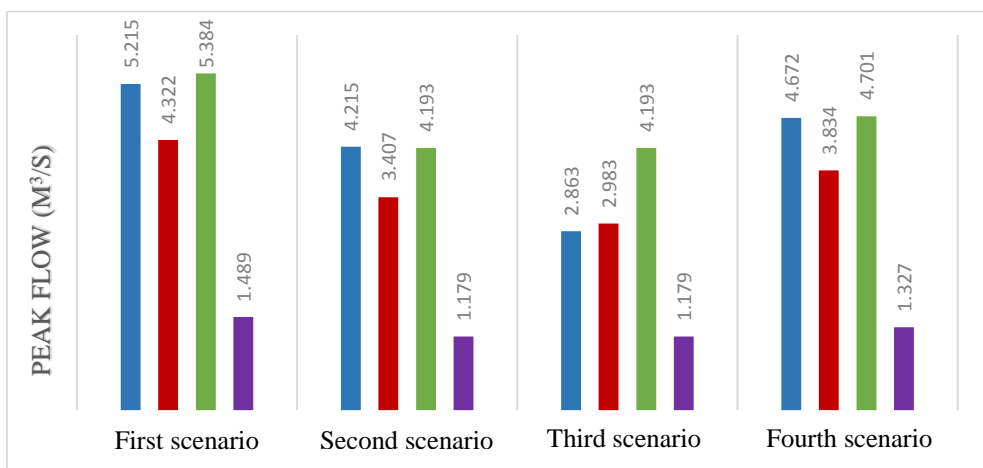
(ج)

شکل ۶. مقایسه دبی پیک در نقاط خروجی از حوضه برای سناریوهای متفاوت با سطح اشغال ۶ درصد و دوره بازگشت های الف) ۱۰

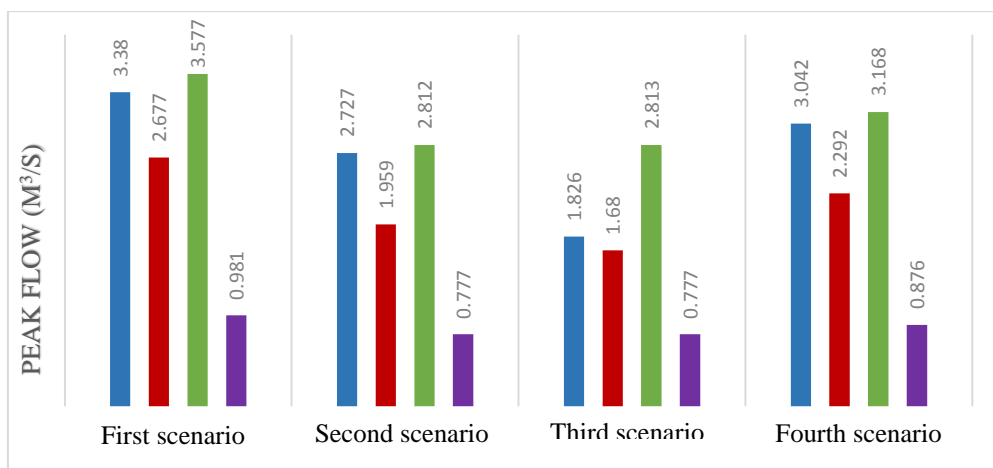
ساله ب) ۵ ساله ج) ۲ ساله

جدول ۸. نتایج مدل سازی کمی برای BMP با سطح اشغال ۴ درصد

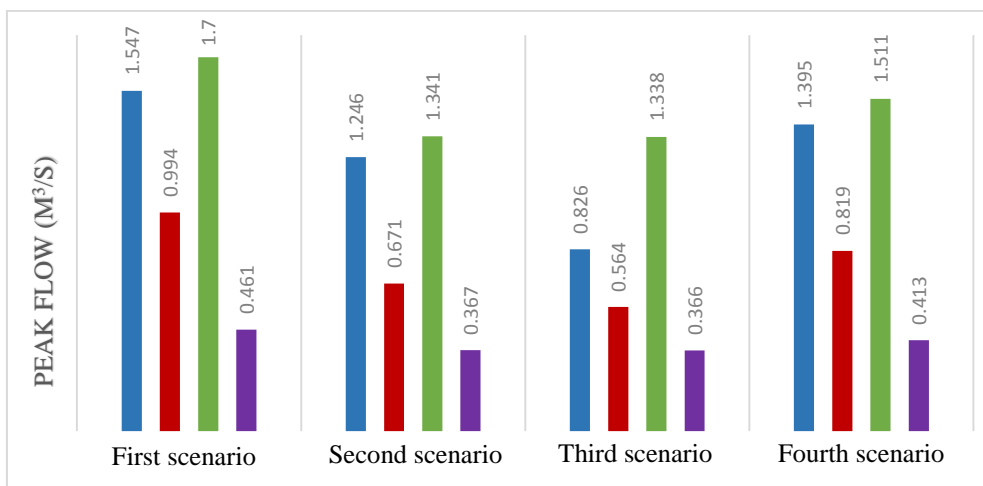
4 percent of the sub basins- return period of 10- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario-peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
4.672	2.863	4.215	5.215	1
3.834	2.983	3.407	4.322	2
4.701	4.193	4.193	5.384	3
1.327	1.179	1.179	1.489	4
4 percent of the sub basins- return period of 5- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario-peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
3.042	1.826	2.727	3.380	1
2.292	1.680	1.959	2.677	2
3.168	2.813	2.812	3.577	3
0.876	0.777	0.777	0.981	4
4 percent of the sub basins- return period of 2- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario-peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
1.395	0.826	1.246	1.547	1
0.819	0.564	0.671	0.994	2
1.511	1.338	1.341	1.700	3
0.413	0.366	0.367	0.461	4



(الف)



(ب)



(ج)

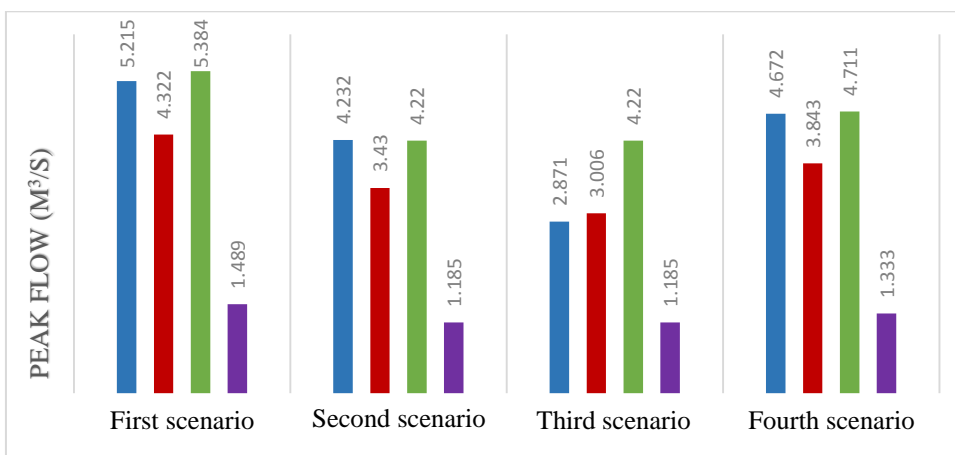
شکل ۷. مقایسه دبی پیک در نقاط خروجی از حوضه برای سناریوهای متفاوت با سطح اشغال ۴ درصد و دوره بازگشت های

(الف) ۱۰ ساله (ب) ۵ ساله (ج) ۲ ساله

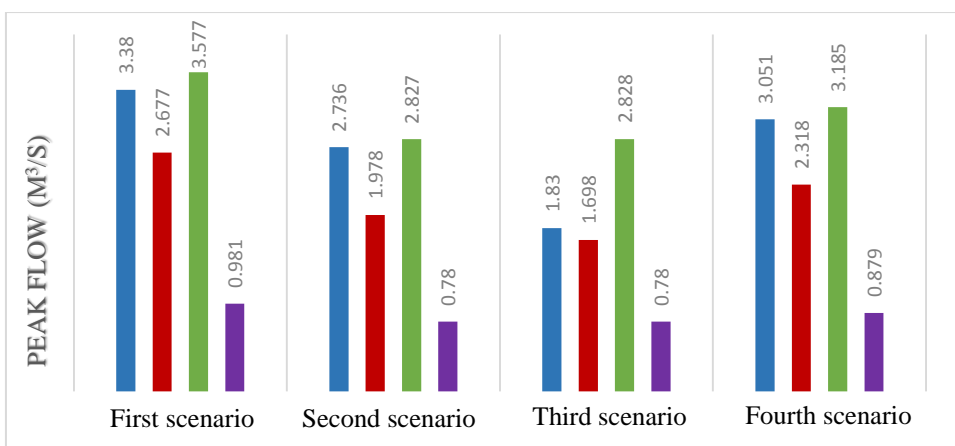
جدول ۹. نتایج مدل سازی کمی برای BMP با سطح اشغال ۲ درصد

2 percent of the sub basins- return period of 10- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
4.672	2.871	4.232	5.215	1
3.843	3.006	3.430	4.322	2
4.711	4.220	4.220	5.384	3
1.333	1.185	1.185	1.489	4
2 percent of the sub basins- return period of 5- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
3.051	1.830	2.736	3.380	1
2.318	1.698	1.978	2.677	2
3.185	2.828	2.827	3.577	3
0.879	0.780	0.780	0.981	4
2 percent of the sub basins- return period of 2- peak flow(m <sup>3</sup> /s)			first scenario- peak flow(m <sup>3</sup> /s)	Basin outlet
permeable pavements	Bioretention Basins	Infiltration Trenches		
1.398	0.829	1.250	1.547	1
0.832	0.576	0.682	0.994	2
1.518	0.348	0.348	1.700	3
0.414	0.368	0.368	0.461	4

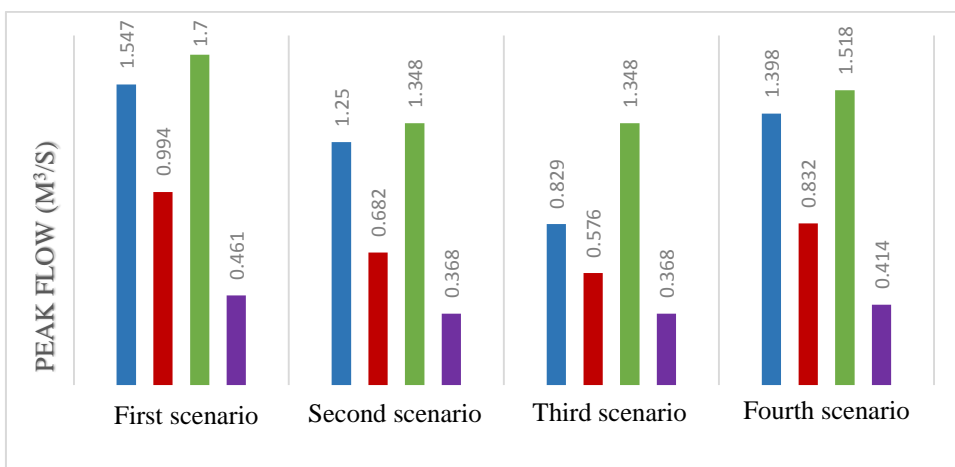




(الف)



(ب)



(ج)

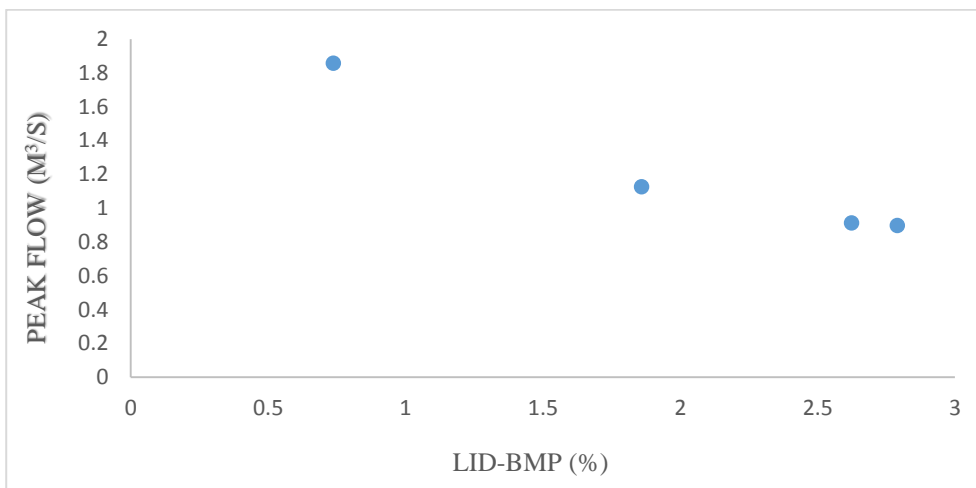
شکل ۸. مقایسه دبی پیک در نقاط خروجی از حوضه برای سناریوهای متفاوت با سطح اشغال ۲ درصد و دوره بازگشت های

(الف) ۱۰ ساله (ب) ۵ ساله (ج) ۲ ساله

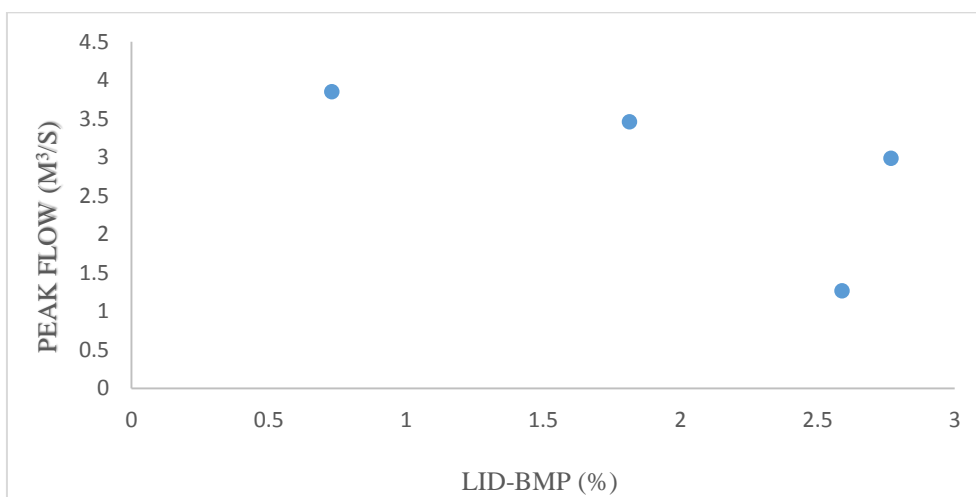
#### ۴-۲. نتایج مدل شبیه سازی - بهینه سازی کمی

همان طور که اشاره شد هدف از بهینه سازی در این تحقیق یافتن بهترین درصد ترکیب های قرارگیری BMPها در کنار هم به منظور دستیابی بیشترین بازدهی تأثیر بر کمیت رواناب می باشد. پس از اجرای مدل بهینه سازی، جانمایی BMPs در سطح منطقه به منظور کاهش دبی پیک خروجی از حوضه برای بارش با دوره بازگشت های ۲ و ۱۰ سال به دست آمده است. تمام نقاط بدست آمده در منحنی های تعامل به عنوان جواب های بهینه قلمداد می شوند.

با توجه به آنکه روش های پیشنهادی از جمله روش های مناسب با توجه به خصوصیات فیزیولوژیکی شهر تهران می باشند اما همانطور که از نتایج جداول مشخص است مخازن نگهداشت دائمی زیستی گزینه بهتری در کاهش دبی پیک می باشند و علت عملکرد ضعیف تر روسازی متخلخل نسبت به دو روش دیگر شیب زیاد منطقه می باشد. مخازن نگهداشت دائمی زیستی قادرند دبی پیک را تا ۶۲٪، ۳۳ ترانشه های نفوذ تا ۴۱٪، ۲۲ و روسازی های نفوذپذیر تا ۴۸٪، ۱۱ نسبت به حالت بدون BMP کاهش دهند.

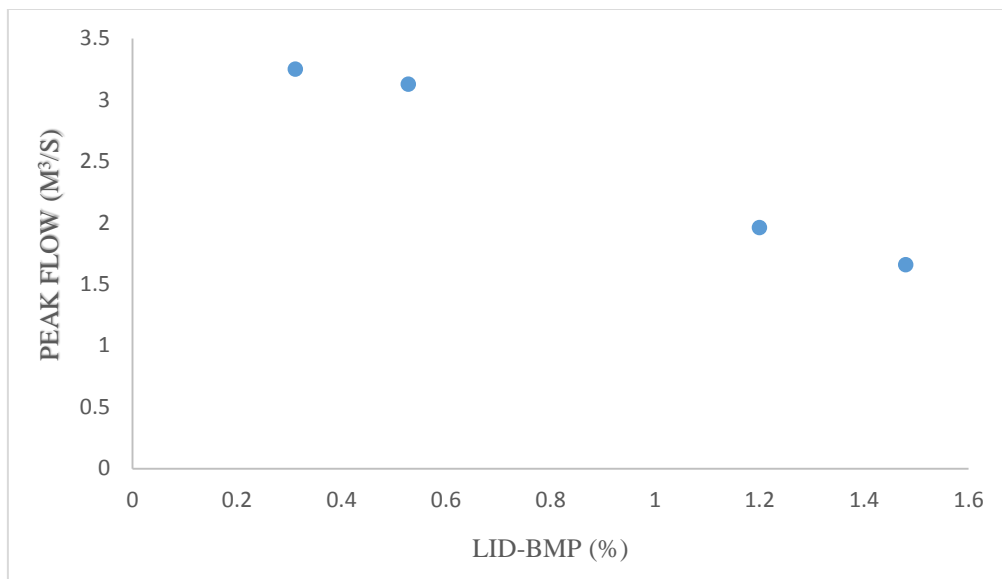


(الف)

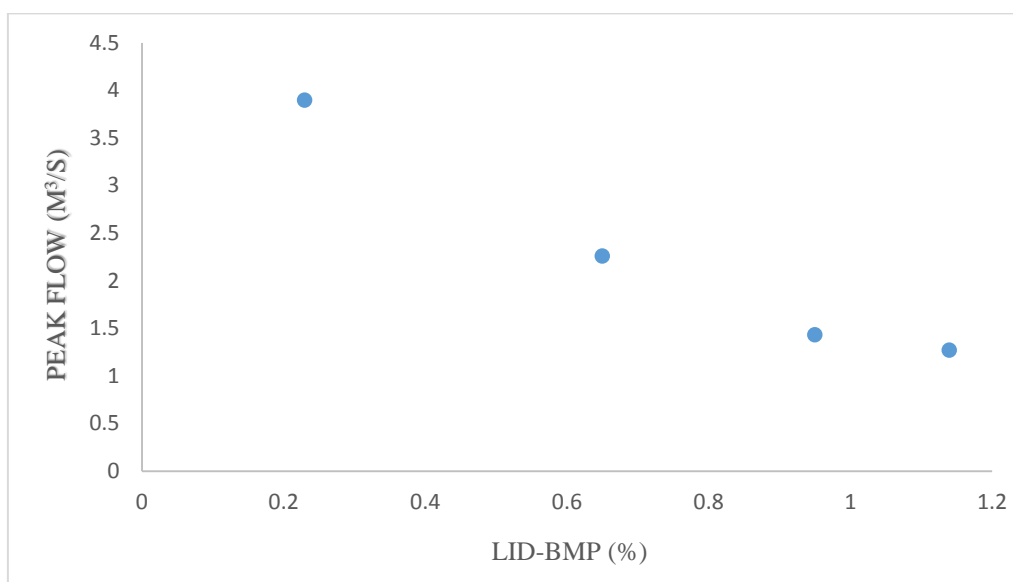


(ب)

شکل ۹. منحنی تعامل بین درصد های مختلف BMPs و میزان کاهش دبی پیک برای BMP با سطح اشغال ۶ درصد برای دوره بازگشت الف) ۲ ساله ب) ۱۰ ساله

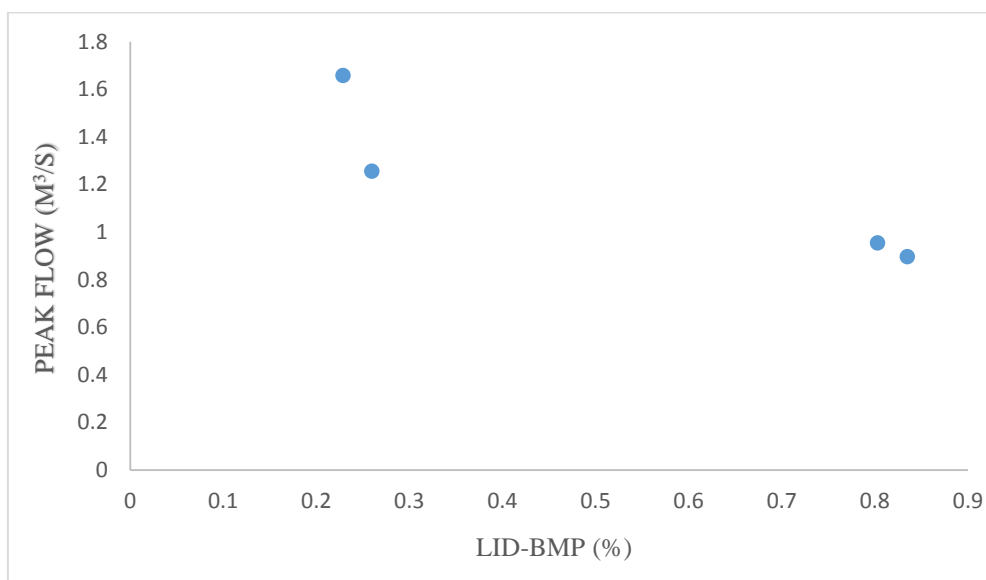


(الف)

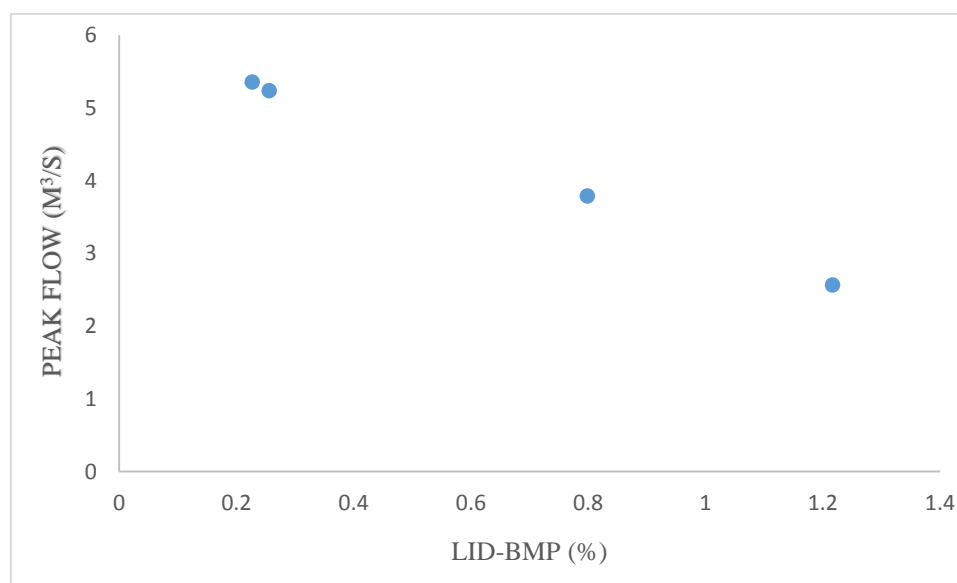


(ب)

شکل ۱۰. منحنی تعامل بین درصدهای مختلف BMPs و میزان کاهش دبی پیک برای BMP با سطح اشغال ۴ درصد برای دوره بازگشت الف) ۲ ساله ب) ۱۰ ساله



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. منحنی تعامل بین درصد های مختلف BMPs و میزان کاهش دبی پیک برای BMP با سطح اشغال ۲ درصد برای دوره بازگشت الف) ۲ ساله ب) ۱۰ ساله

کنترل حجم رواناب آن داشته باشد را به دست آورد. بدین منظور بین الگوریتم بهینه‌سازی و نرم‌افزار شبیه‌سازی ارتباطی برقرار شد تا با استفاده از اجرای نرم‌افزار SWMM، برآزش متغیرهای تصمیم که در این مطالعه بر اساس درصد موجودیت بهترین راهکارهای مدیریتی در سطح زیر حوضه می‌باشد توسط الگوریتم بهینه‌سازی Mopso صورت پذیرد. نتایج نشان می‌دهد به کارگیری ترکیب بهینه هر سه رویکرد نوین، منجر به کاهش ۵۱٪ تا ۵۴٪ دبی پیک نسبت به موثربخش ترین BMP می‌شود. نتایج ارائه شده بین ابعاد گزینه‌های مختلف بهترین راهکارها و کاهش دبی پیک، توانایی روش پیشنهادی در برآورد خصوصیات کمی رواناب باوجود ترکیب‌های مختلف BMPs را نشان می‌دهد. پیشنهادهایی که در مطالعات آتی می‌توان از آن‌ها بهره گرفت به شرح زیر می‌باشد:

- ✓ بهینه‌سازی با سایر الگوریتم‌ها نیز انجام و نتایج بهینه‌سازی مقایسه شوند.
- ✓ ضمن معرفی BMPs به عنوان شیوه ای نوین در کنترل رواناب‌های شهری، مسایل اقتصادی در رابطه با هزینه‌های اجرا و نگهداری در دوره طرح نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ✓ مدل‌های آزمایشگاهی هر کدام از BMPs ساخته شده تا بتوان کارایی دقیق آن‌ها را در کنترل کمی رواناب تعیین کرد.
- ✓ بررسی عملکرد BMPs مختلف به‌طور همزمان در هر زیر حوضه صورت گیرد.
- ✓ انواع دیگر BMPها مدل سازی شده و تأثیر ترکیب‌های بهینه بر کمیت رواناب بررسی شود.
- ✓ با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از درصدهای تخمینی کاربری اراضی و ... منطقه برای مدلسازی استفاده شده است، لذا توصیه می‌شود برای پروژه‌های واقعی مهندسی و نیز پیاده سازی عملی ابزار مدیریتی رواناب، درصدهای واقعی و دقیق کاربری اراضی منطقه اعمال شود.

با جایگذاری دبی‌های بهینه جانمایی شده در هر زیرحوضه، میزان درصد بهینه برای هر BMP مشخص شد. که با توجه به اینکه مخازن نگهداشت دائمی زیستی میزان دبی کمتری دارند قاعدتا درصد کمتری از BMPها را به خود اختصاص می‌دهند و به تبع روسازی نفوذپذیر صرف داشتن دبی بیشتر، درصد BMP بالاتری را می‌طلبد.

نتایج نشان می‌دهد به کارگیری ترکیب بهینه هر سه رویکرد نوین، منجر به کاهش ۵۱٪ تا ۵۴٪ دبی پیک نسبت به موثربخش ترین BMP می‌شود.

### ۵. نتیجه گیری

در این مطالعه با تلفیق الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO و نرم‌افزار SWMM مدل‌سازی بارش رواناب بر روی منطقه ۲۲ واقع در غرب تهران صورت گرفت. برای این منظور اثرات به‌کارگیری برخی از راهکارهای نوین مدیریتی از جمله روسازی نفوذپذیر، ترانشه‌های نفوذ و مخازن نگهداشت دائمی زیستی در کاهش دبی پیک رواناب محدودی منطقه ۲۲ مورد مطالعه قرار گرفت. سناریوهای مختلفی در رابطه با استفاده از این راهکارهای مدیریتی در نظر گرفته شده که در تمام موارد، نتایج نشان از کارایی و تأثیر استفاده از این سه نوع BMP در کاهش دبی پیک سیلاب رواناب دارد. روسازی نفوذپذیر، ترانشه‌های نفوذ و مخازن نگهداشت دائمی زیستی به‌عنوان BMP های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار SWMM در چهار سناریو برای بارندگی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال شبیه‌سازی شدند و نتایج مدل‌سازی نشان داد که مخازن نگهداشت زیستی نسبت به ترانشه‌های نفوذ و روسازی‌های نفوذپذیر، توانایی بیشتری در کاهش دبی پیک دارد. همچنین با افزایش دوره بازگشت از تأثیر BMPs کاسته می‌شود بطوری که مخازن نگهداشت زیستی ۱۰٪ بیشتر از ترانشه‌های نفوذ و حدود ۲۰٪ بیشتر از روسازی‌های نفوذ پذیر در کاهش دبی پیک تأثیر گذار می‌باشند، اما از آنجایی که به نظر می‌رسید هر یک از این راهکارها به تنهایی قادر به بهبود کمیت رواناب نباشند نتیجه‌گیری شد که با ترکیب نمودن BMP ها، مناسب‌ترین ترکیب که بالاترین اثربخشی را در

## منابع

- بهروزی، ا. و همکاران (۱۳۹۲). مدل بهینه سازی کنترل کمی و کیفی رواناب شهری با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs)، مطالعه موردی: منطقه ۱۰ تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- سلطانی، م. تجربی، م. (۱۳۸۸). مدل سازی کیفی نهرهای درون شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- طرح جامع مدیریت آب های سطحی تهران. جلد هشتم. رویکرد مدرن، ۱۳۹۰
- قنبری عدیوی، م. تجربی، م. (۱۳۹۰). بررسی عملکرد جوی باغچه های بومی شهر تهران به منظور طرحی جهت حذف آلاینده های رواناب سطحی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف.
- کمالی، م. و تجربی، م. (۱۳۹۰). بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در حذف آلاینده از رواناب سطحی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- مختاریپور، ا. خدانشناس، س. داوری، ک. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دبی سیلاب شهری با دو روش روسازی متخلخل و ترانشه نفوذ، مطالعه موردی: منطقه ۴ تهران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره چهارم.
- مطالعات تفصیلی شهرداری منطقه ۲۲ تهران، ۱۳۸۵
- مظفری، ج و کبارقردم، (۱۳۹۶)، بررسی مدیریت کمی و کیفی سیلاب شهری با مدل EPA SWMM، مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره بیست و هفتم.
- منتظرالحجه. مهدی، (۱۳۹۶)، برنامه ریزی توسعه پایدار محیط های شهری با رویکرد توسعه کم اثر (LID)، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- میرآخوری، ش. و همکاران (۱۳۹۲). برآورد بار آلودگی رواناب شهری به منظور ارائه بهترین راهکارهای مدیریتی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- changing Xu. et al. (2019). Progress on environmental and economic evaluation of low-impact development type of best management practices through a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 213 1103-1114.
- Generino P. Siddayao , Sony E. Valdez , Proceso L. Fernandez. (2015). Modeling Flood Risk for an Urban CBD Using AHP and GIS, *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 5, No. 10, October 2015.
- H., Jia. Et al. (2012). Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. *Journal of Separation and Purification Technology*, 84 (2012), 112–119.
- H., Jia. Et al. (2013). Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection. *Environ Monit Assess*. 2013 Sep;185(9):7915-33.
- Mehrabadi, M. H. R., Saghafian, B., & Bazargan-Lari, M. R. (2017). Simulation and feasibility of biological and structural BMPs for stormwater control in the urbanizing watersheds. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(2), 719-731. in persian.
- Reynolds, S. et al. (2012). Linking Stormwater BMP Systems Water Quality and Quantity Performance to Whole Life Cycle Cost to Improve BMP Selection and Design. *World Environmental and Water Resources Congress*.
- Stormwater management plan (SWMP); San Francisco Public Utilities Commission(SFPUC); Hetchy Water& Power Clean Water., Fact sheet #2; Spring 2004
- Storm Water Management Model Applications Manual- EPA/600/R-09/077 July 2009.
- Wu Che, Integral Stormwater Management Master Plan and Design in an Ecological Community. *Journal of Environmental Science*. 09 Jul 2014, 26(9), 1818-1823.
- Warren Viessman, Gary L. Lewis. Introduction to Hydrology 5th Edition.(1994).
- Xuhui Mao. et al. (2017). Assessing the ecological benefits of aggregate LID-BMPs through modelling. *Journal of Ecological Modelling*, 353, 139-149.