

شناسایی سناریوی مناسب بهترین راهکارهای مدیریتی در ارتقاء کمیت و کیفیت رواناب شهری با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی

مسعود طاهریون^۱، اصغر فلاحی زرنندی^{۲*} و غلامرضا اسدالله فردی^۳

چکیده

با گسترش شهرنشینی در کلان‌شهرها و کاهش سطوح نفوذپذیر، در زمان بارندگی مشکلاتی از قبیل افزایش حجم رواناب و آلودگی زیاد کانال‌ها و انهار سطحی رخ می‌دهد. یکی از راه‌های نوین و مؤثر مدیریت کمی و کیفی رواناب شهری به کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs) است. این راهکارها گزینه‌های مختلفی مانند سیستم‌های جوی باغچه، سیستم ماند بیولوژیکی، سطوح نفوذپذیر و ترانشه‌های نفوذ را شامل می‌شوند. در این مقاله، با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWMM، تعدادی از این راهکارها برای کاهش دبی و بار آلودگی رواناب یک زیرحوضه از کلان‌شهر تهران در قالب سناریوهای مختلف ارزیابی شدند. نتایج نشان داد می‌توان با استفاده از این راهکارها در دبی جریان و بار آلودگی کاهش زیادی ایجاد کرد. همچنین مشخص شد عوامل طبیعی زیرحوضه‌ها از جمله سطوح نفوذپذیر و درصد مسیردهی رواناب به این سطوح در ارائه سناریوهای مناسب تأثیر بسزایی دارد؛ بنابراین، افزایش این دو کمیت به صورت اعمال راهکارهای غیرسازه‌ای توصیه می‌شود. به طور کلی، BMPهایی که نسبت حذف بار آلودگی به هزینه آن‌ها بیشتر بود مانند ترانشه نفوذ، دارای عملکرد بهتری بوده‌اند اما عوامل اجرایی و وجود فضای مناسب یکی از عوامل محدودکننده است.

واژه‌های کلیدی: بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs)، ترانشه نفوذ، رواناب شهری، نرم‌افزار SWMM.

ارجاع: طاهریون م.، فلاحی زرنندی ا. و اسدالله فردی غ. ر. ۱۳۹۵. شناسایی سناریوی مناسب بهترین راهکارهای مدیریتی در ارتقاء کمیت و کیفیت رواناب شهری با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی. مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۸۵-۹۶.

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه خوارزمی تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران.

* نویسنده مسئول: falahi2691@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

مقدمه

رواناب ناشی از سیلاب‌های شهری شامل غلظت‌های معناداری از آلودگی‌های متنوع است و یکی از عوامل اصلی زوال کیفی آب در مناطق شهری است. توسعه شهرنشینی میزان سطوح طبیعی و سرزمین‌های توسعه نیافته و به دنبال آن توانایی حوضه را در کنترل جریان سیلاب‌ها کاهش می‌دهد. جریان پیک در مناطق توسعه یافته از ۳۰ درصد تا ۱۰۰ درصد بیشتر از مناطق کمتر توسعه یافته یا مناطق توسعه نیافته است. این پدیده همچنین سبب تغییرات در رژیم هیدرولوژی نیز می‌شود که می‌تواند عامل افزایش رخدادهای سرریزشدگی، جریان‌های پایه کمتر و افزایش فرسایش کانال‌های جریان آب باشد (پارک و روزنر، ۲۰۱۲؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲ و ژاکوبسون، ۲۰۱۱). بهترین راهکارهای مدیریتی یا BMPs^۱ به طور وسیعی برای کاهش آلودگی منابع غیرنقطه‌ای و کاهش پیک رواناب استفاده می‌شوند. بهترین راهکارهای مدیریتی برای سیلاب می‌توانند سازه‌ای و یا غیرسازه‌ای باشند. هدف راهکارهای غیرسازه‌ای ارتقای کیفیت رواناب از طریق اعمال قوانین و برنامه‌های آموزشی است (پارک و روزنر، ۲۰۱۲). راهکارهای سازه‌ای، اقدامات فیزیکی و پروژه‌های اجرایی از قبیل حوضچه‌های خشک، برکه‌ها، نوارهای فیلتری، جوی‌باغچه، ترانشه‌های نفوذ، سامانه ماند زیستی و روسازی نفوذپذیر هستند که با هدف کاهش اثرات رواناب سیلاب توسعه می‌یابند (کپلوئیس، ۲۰۱۲). برای رسیدن به اهداف مطلوب کاهش حجم دبی و میزان آلاینده‌های جریان در حوضه، اقدامات مدیریتی زیادی لازم است؛ هر چند یک راه حل استاندارد نمی‌تواند برای همه مکان‌ها تأثیرگذار باشد. چالش اصلی برای طراحان و تصمیم‌گیران، انتخاب ترکیب بهینه راهکارها از بین گزینه‌های مختلف قابل دسترس است تا کم‌هزینه‌ترین خط مشی مدیریتی در دسترس و قابل اجرا برای منطقه‌ی موردنظر را ارائه کند (لی و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهش‌ها بیانگر این واقعیت هستند که برای تأثیرگذار بودن هر برنامه‌ی از ارتقای کیفیت با BMPها باید مطمئن شد مؤلفه‌های مختلفی در زیرحوضه بررسی شده‌اند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹). در این پژوهش تلاش شده است با در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر بر انتخاب بهترین راهکارهای مدیریتی، اقدام به تعیین سناریوی مناسب

برای حذف مناسب آلاینده‌ها از رواناب با کمترین هزینه شود.

روهر و همکاران (۲۰۰۵) با مدل SWMM^۲ فرآیندهای تعیین معیارهای طراحی حوضچه‌های نگهداشت محلی را شرح داده‌اند، این حوضچه‌های نگهداشت در منطقه‌ی مورد بررسی سبب می‌شود شرایط زمین در سیستم طبیعی رواناب به حداکثر قابلیت اجرایی خود برسد. تمپرانو و همکاران (۲۰۰۵) عملکرد مدل SWMM را در پیش‌بینی مواد آلاینده در دوره هوای مرطوب شهری در اسپانیا ارائه دادند. در پژوهش آن‌ها جامدات معلق SS^۳، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی COD^۴ و نیتروژن قلیایی در خروجی حوضچه اندازه‌گیری شدند و برای اعتبارسنجی و صحت سنجی مدل به کار رفتند. یانگ و مایرز (۲۰۰۷) قابلیت اجرایی احداث بهترین راهکارهای مدیریتی مختلف در قطعات زمین اشغال نشده شهر فیلادلفیا را با مدل SWMM بررسی کردند. مدل SWMM در پژوهش آن‌ها برای شبیه‌سازی درازمدت رواناب بارش استفاده شده است. در پژوهش مذکور هزینه نگهداشت رواناب با استفاده از رویکرد راهکارهای گیاهی محاسبه و با هزینه‌ی دیگر راهکارهای متداول مقایسه شده است. اسمیت و همکاران (۲۰۰۷) یک سیستم پشتیبان را برای برآورده کردن چهار TMDL^۵ در سطوح شهری با توجه به ملاحظات اقتصادی از روش فیلتر کردن رواناب، توسعه دادند. در این پژوهش، رواناب با ترکیب مدل SWMM و داده‌های شبکه زهکشی شهری مدل‌سازی شد. نتایج این پژوهش نشان دهنده اثرات اقتصادی مثبت استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم در مدیریت حوضه‌های شهری است. در پژوهش دیگری لی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل SWMM صرفه اقتصادی بهترین راهکارهای مدیریتی را بررسی کردند تا به چگونگی، نوع، مکان و اندازه آن‌ها، پاسخ دهند. در این بررسی سه راهکار استفاده از روسازی نفوذپذیر، حوضچه‌های نگهداشت و بام‌های سبز به کار گرفته شده و نتایج نشان داد که از بین این سه راهکار، روسازی نفوذپذیر مؤثرترین وسیله برای کنترل رواناب است.

همچنین ژیا و همکاران (۲۰۱۱) تحلیل و برنامه‌ریزی شهری را که سیستم پایه مدیریت رواناب آن مجموعه‌ای از

^۲ EPA Storm Water Management Model

^۳- Suspended Solids

^۴- Chemical oxygen demand

^۵- Total Maximum Daily Loads

1- Best Management Practices

به اعمال این راهکارها در قالب سناریوها و بررسی عملکردی و اقتصادی آن‌ها پرداخته شد. محل مورد مطالعه به مساحت ۸۱ هکتار در شرق تهران در منطقه ۸ حد فاصل خیابان‌های جانبازان غربی از شمال و آیت‌الله مدنی از شرق و مسیل باختر از غرب است. نقطه خروجی رواناب، محل تلاقی دو مسیل باختر و تهرانپارس بوده و شیب غالب منطقه شمالی- جنوبی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی را نسبت به شهر تهران و نمای نزدیک آن نمایش می‌دهد.

انواع BMPها است، بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که اصلاح سیستم مدیریت رواناب شهری می‌تواند تأثیر بسزایی در کنترل رواناب سطحی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

ابتدا رواناب حوضه مورد بررسی توسط مدل SWMM شبیه‌سازی و بر اساس آن زیرحوضه‌های بحرانی مشخص شده است و سپس بهترین راهکارهای مدیریتی مورد نظر بر اساس تأثیر آن‌ها تعیین شده و هزینه هر یک مشخص شد. پس از آن، با توجه به شناختی که نسبت به زیرحوضه‌ها و بهترین راهکارهای مدیریتی مؤثر پیدا شد،



شکل ۱- محدوده منطقه‌ی مورد مطالعه و موقعیت آن نسبت به شهر تهران

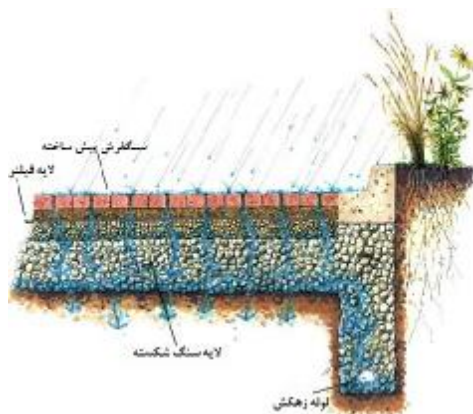
برای آهسته کردن رواناب، افزایش نفوذ و حذف آلاینده‌ها به هنگام هدایت رواناب طراحی می‌شوند (متلاک و همکاران، ۲۰۱۰). در شکل ۲ نمونه‌ای از این سیستم قابل مشاهده است. لازم به ذکر است از جوی‌باغچه به عنوان سیستم جمع‌آوری اصلی رواناب استفاده نمی‌شود بلکه به عنوان سیستم کمکی اضافه و در خطوط فرعی استفاده می‌شود. همچنین استانداردهای مختلف سرعت حرکت آب را در آن‌ها محدود کرده است و ضوابطی برای دوره سرویس دهی و نگهداری آن‌ها اعمال کرده‌است؛ در ضمن با توجه به شکل ۲ موانع فیزیکی در برابر جریان وجود ندارد. همچنین بر اساس نظر مراجع مختلف، بیشترین تأثیر آن‌ها در سیلاب‌های با دوره بازگشت کوچک است.

مدل مدیریت رواناب SWMM یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب است که برای شبیه‌سازی کمی و کیفی یک رخداد بارش یا شبیه‌سازی درازمدت (پیوسته) رواناب در مناطق توسعه یافته شهری از آن استفاده می‌شود. مؤلفه رواناب این مدل مجموعه‌ای از زیرحوضه‌ها را پدید می‌آورد که این زیرحوضه‌ها نزولات جوی را دریافت و تولید رواناب و بارهای آلودگی می‌کنند (رسمن، ۲۰۱۰).

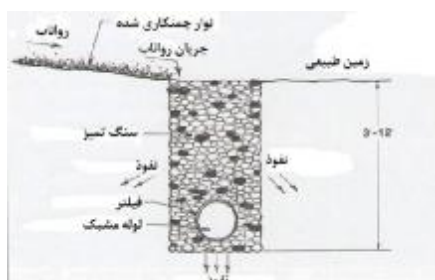
بهترین راهکارهای مدیریتی مورد استفاده

در این پژوهش از چهار سیستم بهترین راهکارهای مدیریتی سازه‌ای استفاده شد.

سیستم گیاه‌کاری شده^۱ یا جوی‌باغچه‌ها، کانال‌های کم‌عمق و عریضی هستند که با گیاهان پوشیده شده‌اند و



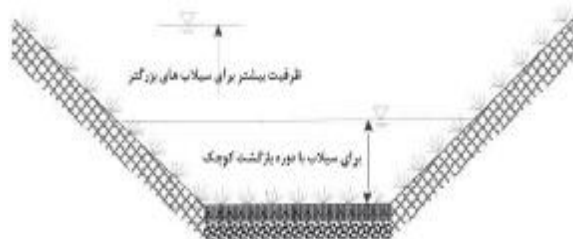
شکل ۴- روسازی نفوذپذیر



شکل ۵- ترانشه نفوذ

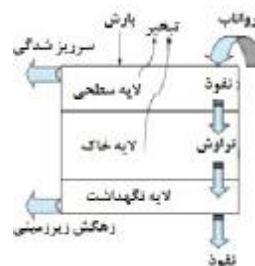
در مورد نحوه انتخاب راهکارها، کاظمی پرکوهی (۱۳۹۰) با نمونه‌گیری ذرات خشک از نقاط مختلف شهر تهران که به طور یکنواختی در شمال، مرکز، جنوب و غرب شهر با کاربری‌های ترافیکی و مسکونی پراکنده شده بود؛ بیان کرد با توجه به ریز بودن عمده ذرات نمونه‌برداری شده، بهتر است از سیستم‌های فیلتراسیون و روسازی‌های نفوذپذیر استفاده شود (کاظمی پرکوهی، ۱۳۹۰).

همچنین کمالی و تجریشی (۱۳۹۰) عملکرد سیستم‌های روسازی نفوذپذیر، سلطانی و همکاران (۱۳۸۹) عملکرد سیستم‌های جوی‌باغچه و ماند زیستی را در کاهش حجم و آلودگی رواناب بررسی و کارایی آن‌ها را مناسب ارزیابی کردند. بنابراین در این بررسی، از چهار نوع BMP سازه‌های به نام‌های جوی باغچه، سلول ماند زیستی، سطوح نفوذپذیر و ترانشه‌های نفوذ برای بررسی راهکارهای کنترل کمی و کیفی رواناب شهری استفاده گردید. از نظر هماهنگی با محیط فیزیکی و اقلیمی شهر تهران نیز این چهار نوع قابلیت و سازگاری لازم را دارند (مهاب قدس، ۱۳۸۹).



شکل ۲- نمونه ای از سیستم گیاه کاری شده

تجهیزات ماند زیستی^۱، راهکاری برای کنترل کیفیت و کمیت آب و گودرفتگی‌های سطحی کم‌عمق شامل لایه سطحی زیستی، لایه‌ی خاک ماسه‌ای و لایه نگهداشت است که از ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی گیاهان، میکروب‌ها و خاک برای حذف آلاینده‌ها از رواناب سیلاب استفاده می‌کند. (متلاک و همکاران، ۲۰۱۰). در شکل ۳ نمونه این سامانه نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه ای از سامانه ماند بیولوژیکی و لایه‌های تشکیل دهنده آن

روسازی نفوذپذیر^۲ راهکاری برای نفوذ رواناب است که به طور همزمان سه مزیت ذخیره رواناب، تمهیدات نفوذ آن به زمین، کارکرد سازه‌ای به عنوان روسازی و محل تردد را فراهم می‌آورد. این راهکار شامل یک سطح نفوذپذیر است که ممکن است دارای لایه اساس زیرسطحی سنگ‌دانه‌های خرد شده باشد. (کمالی و تجریشی، ۱۳۹۰ و متلاک و همکاران، ۲۰۱۰). در شکل ۴ نمونه این سامانه مشاهده می‌شود.

ترانشه نفوذ^۳ شیار حفاری است که با خرده سنگ پر شده است و یک حوضچه زیرسطحی را تشکیل می‌دهد. ترانشه‌های نفوذ برای ذخیره، نگهداشت و نفوذ رواناب به خاک مجاور طراحی می‌شوند. (متلاک و همکاران، ۲۰۱۰) در شکل ۵ ترانشه نفوذ نشان داده شده است.

1- Bioretention Facilities
2- permeable pavement
3- Infiltration Trench

$$P = \frac{F}{(1+i)^N} \quad (2)$$

که در آن A هزینه سالیانه، P هزینه معادل فعلی، F هزینه ثانویه، N عمر مفید BMP و i نرخ بهره سالیانه (۱۴٪) است.

بنابراین هزینه کلی برای اجرا و نگهداری هر مترمربع راهکارهای مختلف به شرح زیر به دست می‌آید (اسکونژاد، ۱۳۹۰):

$$C_t = C_1 + C_2 \left(\frac{P}{A}, i\%, N \right) + C_3 \left(\frac{P}{F}, i\%, N \right) \quad (3)$$

C₁ هزینه اولیه اجرای BMPها از محاسبات انجام شده بر اساس فهرست بها ۹۲، C₂ هزینه نگهداری سالیانه BMPها که درصدی از هزینه‌ی اولیه است و از جدول ۱ به دست می‌آید، C₃ هزینه بازسازی و نوسازی که برای دوره‌ای مشخص اعمال می‌شود و درصدی از هزینه اولیه است و از جدول ۱ به دست می‌آید.

هزینه کلی اجرای هر متر مربع راهکارهای مختلف که مجموع هزینه‌های بالا است در جدول ۲ آورده شده است.

هزینه و میزان تأثیر بهترین راهکارهای مدیریتی

هزینه احداث بر اساس فهرست بهای واحد پایه رشته بناها، راه و راهداری سال ۱۳۹۲ و با نرخ بهره ۱۴ درصد محاسبه شده است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهوری، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه مقداری دیگر از هزینه این گونه طرح‌ها، بابت نگهداری و تعمیرات آن‌ها است، این هزینه نیز باید به هزینه احداث اضافه شود. در مورد هزینه نگهداری سالیانه، هزینه بازرسی و نوسازی BMPها، با توجه به توصیه‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و ادبیات مروری، جدول ۱ ارائه شده است (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۹ و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا اداره مدیریت آب واشنگتن، ۱۹۹۹). این هزینه‌ها را باید به ارزش فعلی تبدیل کرد تا قابل جمع با مقادیر هزینه‌های سرمایه گذاری باشند؛ بدین منظور از رابطه‌های زیر استفاده شده است (اسکو نژاد، ۱۳۹۰).

$$P = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right] \quad (1)$$

جدول ۱- میزان هزینه نگهداری سالیانه، بازرسی و نوسازی و مدت طول عمر راهکارها

نوع BMP	هزینه نگهداری سالیانه (درصدی از هزینه اولیه)	بازرسی و نوسازی (درصدی از هزینه اولیه)	طول عمر (سال)
جوی باغچه	٪۵	-	۳۰
سلول ماند بیولوژیکی	٪۵	-	۳۰
روسازی نفوذپذیر	٪۱۰	۱۰ سال یک‌بار = ٪۶۰	۳۰
ترانشه‌های نفوذ	٪۷	۱۰ سال یک‌بار = ٪۲۰	۳۰

کارایی BMPها و سناریوها و در نهایت شاخص بهینه برای مقایسه همزمان عملکرد و هزینه سناریوها به روابط مناسبی نیاز است. ضریب حساسیت در رابطه (۴) و میزان کارایی بر اساس درصد حذف آلاینده در رابطه (۵) و شاخص بهینه بر اساس نسبت درصد حذف به هزینه راهکار در رابطه (۶) آمده است (شیرمحمدی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$SA = \frac{(OUT - OUT_b) / OUT_b}{(IN - IN_b) / IN_b} \quad (4)$$

$$R = \frac{OUT - OUT_b}{OUT_b} \quad (5)$$

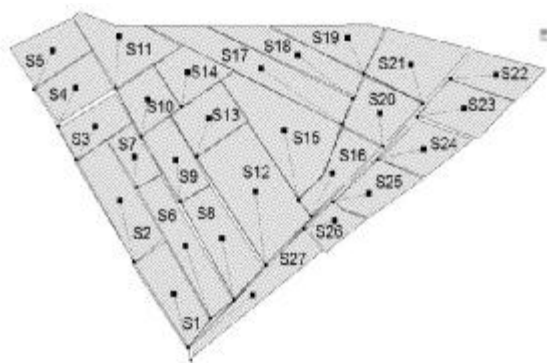
$$OPT = \frac{\%R}{C} \quad (6)$$

جدول ۲- هزینه کلی هر مترمربع BMPها

نوع BMP	هزینه (ریال)
جوی باغچه	۲۵۹ ۵۶۰
سلول ماند بیولوژیکی	۶۵۰ ۷۶۰
روسازی نفوذپذیر	۳۴۴ ۲۰۰
ترانشه‌های نفوذ	۴۹۸ ۳۲۰

با توجه به بررسی منطقه مورد نظر امکان احداث راهکارهای چهارگانه در همه زیرحوضه‌ها بررسی شد و زیرحوضه‌هایی که امکان احداث این تجهیزات در آن‌ها بود و همچنین میزان مساحت و فضایی که برای انواع BMPها در زیرحوضه‌ها در اختیار بود مشخص شد. برای تعیین میزان حساسیت پارامترهای موجود در زیرحوضه‌ها، میزان

NURP^۴ ارائه کرده است، استفاده شود (جیروناس و همکاران، ۲۰۰۹ و مهتاب قدس، ۱۳۸۹). در این پژوهش با توجه به کمبود داده‌ها، از مقادیر EMC شهرهای با اقلیم و بارش سالیانه مشابه تهران و داده‌های مرجع برنامه‌ی ملی رواناب شهری آمریکا (NURP) در مدل استفاده گردید.



شکل ۶- وضعیت تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل SWMM

نتایج و بحث

در جدول ۳ ضریب حساسیت مقادیر کمی و کیفی رواناب در مقابل تغییرات تعدادی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار حوضه بر اساس رابطه (۴) ارائه شده است. در پارامتر ردیف ۵، نوع کاربری اراضی که یک متغیر کیفی (غیرکمی و توصیفی) است بررسی شده است. همان‌طور که گفته شد در منطقه مورد بررسی چهار نوع کاربری مسکونی با تراکم کم و زیاد، کاربری خیابان و کاربری بزرگراه تعریف شده است. به هر یک از این کاربری‌ها EMC مخصوص به خود اختصاص داده می‌شود و با تغییر کاربری در محیط، آنچه که در مدل تغییر می‌کند EMC اعمال شده است. مقدار پایه و محدوده‌ی تغییرات EMC برای TSS و COD براساس گزارش EPA و ادبیات مروری در نظر گرفته شد (جیروناس و همکاران، ۲۰۰۹ و لی و همکاران، ۲۰۱۲).

که در آن SA ضریب حساسیت (بی‌بعد)، IN ورودی مدل، OUT خروجی مدل، b علامت مقادیر پایه، R میزان کاهش یا حذف آلاینده، OPT شاخص بهینه و C هزینه است.

در شکل ۶ نحوه تقسیم حوضه مورد مطالعه به ۲۷ زیرحوضه با شیب بین ۲ تا ۳ درصد در مدل SWMM نشان داده شده است. در بخش کیفی مدل، شاخص جامدات معلق کل (TSS)^۱ و میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) برای شبیه‌سازی کیفیت آب در نظر گرفته شد. در منطقه‌ی مورد بررسی، چهار نوع کاربری مسکونی با تراکم کم و زیاد، کاربری خیابان و کاربری بزرگراه تعریف گردید. از سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲ و ۱۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شد. همچنین در شبیه‌سازی پیوسته نیز اطلاعات هواشناسی و بارش در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ ایستگاه شمال تهران (تجریش) به کار گرفته شد.

در مسیریابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی استفاده شد. برای مدل کردن نفوذ در SWMM از روش هورتون استفاده شد. برای تعیین پارامترهای این روش ابتدا نوع خاک باید مشخص شود. خاک منطقه ماسه لومی است. ضریب هیدرولیکی خاک از پژوهش‌های حفیظی و پاشاخانو (۱۳۸۵) گرفته شد که نزدیک‌ترین نقطه به محل مورد نظر ۱۰/۵۸ متر در روز یا ۴۴ mm/h بوده است. نفوذپذیری خاک منطقه نیز ۲۹ mm/h است. برای مدل کردن نفوذ، سرعت نفوذ ابتدایی (f_0)، سرعت نفوذ نهایی (f_c) و ثابت کاهش از دستورالعمل مدل SWMM و سایر مراجع (ثابتی، ۱۳۹۰؛ علیزاده، ۱۳۹۰ و توکلی، ۱۳۹۰) به دست آمده‌اند. برای مدل کردن شست‌شوی آلاینده‌ها از روش غلظت‌های متوسط رخداد (EMC^2) استفاده شده است. توصیه می‌شود در مناطقی که با کمبود داده و بررسی‌ها روبرو هستیم از داده‌های جدولی EMC و یا داده‌های شهری که ویژگی‌های اقلیمی مشابهی با منطقه مورد بررسی دارد و یا همچنین از داده‌های برنامه ملی سراسری رواناب شهری آمریکا که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA^۳) تحت عنوان

1- Total Suspended Solid

2 Event Mean Concentration

3 Environmental Protection Agency

جدول ۳- میزان تأثیر مشخصات زیرحوضه در کمیت و کیفیت رواناب

شماره	مشخصات زیرحوضه	مقدار پایه ومحدوده تغییرات	ضریب حساسیت درحجم رواناب خروجی	ضریب حساسیت در بارکل TSS خروجی	ضریب حساسیت در بارکل COD خروجی
۱	شیب	۲/۵ ± ۰/۵ درصد	تغییر قابل توجهی مشاهده نشد.		
۲	نگهداشت عوارض سطحی نواحی نفوذناپذیر	۲ ± ۰/۲۵ میلی متر	-۰/۳۳۶	-۰/۳۳۶	-۰/۳۳۶
۳	درصد نفوذناپذیری با ۲۰ درصد مسیردهی به نواحی نفوذپذیر	۵۵ ± ۲۰ درصد	+۰/۹۹	+۱/۰۱	+۱/۰۱
۳	درصد نفوذناپذیری با ۸۰ درصد مسیردهی به نواحی نفوذپذیر	۵۵ ± ۲۰ درصد	+۱	+۱/۰۱	+۱/۰۱
۴	میزان مسیردهی به نواحی نفوذپذیر با درصد نفوذناپذیری ۳۵ درصد	۵۰ ± ۳۰ درصد	-۱	-۱/۰۱	-۱/۰۱
۴	میزان مسیردهی به نواحی نفوذپذیر با درصد نفوذناپذیری ۷۵ درصد	۵۰ ± ۳۰ درصد	-۱	-۰/۹۹	-۱
۵	EMC (نوع کاربری اراضی) در TSS	۲۰۰ ± ۱۰۰ mg/l	-	+۰/۹۵	-
۵	EMC (نوع کاربری اراضی) در COD	۱۲۰ ± ۴۰ mg/l	-	-	+۰/۹۶

بررسی‌ها رابطه بین سطوح نفوذناپذیر کل (TIA) و سطوح نفوذناپذیر مؤثر (EIA) را تخمین زده‌اند که نشان از محدوده تغییرات وسیع آن دارد. به عنوان مثال؛ بعضی منابع، نسبت کسری سطوح نفوذناپذیر مؤثر به سطوح نفوذناپذیر کل را به طور میانگین ۰/۱۴ و ۰/۲۲ و منابع دیگر، برای مناطق متراکم شهری ۰/۱۶، برای مناطق مسکونی ۰/۳۶ و ۰/۵۶ و برای بزرگراه‌ها ۰/۳۶ گزارش کرده‌اند (ژاکوبسون، ۲۰۱۱). در اینجا برای سنجیدن ضریب حساسیت، مقدار پایه را ۰/۵ در نظر می‌گیریم. می‌توان از این کمیت با توجه به تأثیر آن، برای ارائه‌ی بهترین راهکارهای مدیریتی غیرسازه‌ای استفاده کرد. اما تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی را باید در کیفیت آب دانست. این نکته در تعیین زیرحوضه‌های بحرانی به ما کمک زیادی خواهد کرد، بدین معنی که برای انتخاب محل بهینه استقرار بهترین راهکارهای مدیریتی، زیرحوضه‌هایی که کاربری با EMC بیشتر و به دنبال آن آلودگی بیشتری دارند در اولویت قرار می‌گیرند. با توجه به عوامل بالا و خروجی مدل، برای تعیین زیرحوضه‌های بحرانی، نسبت کل آلاینده‌ی خروجی هر زیرحوضه نسبت به حجم رواناب رخداد بارش در همان زیرحوضه به عنوان معیار مناسب، تشخیص داده شد. همان‌طور که در قسمت

از درصد نفوذناپذیری به عنوان مؤثرترین پارامتر در مشخصات هیدرولوژیکی حوضه نام برده می‌شود (جیروناس و همکاران، ۲۰۰۹). در مورد پارامتر ۳ با افزایش نواحی نفوذناپذیر، حجم و مقادیر آلاینده‌های خروجی زیاد افزایش می‌یابد. اما نکته قابل توجه دیگر، مورد ۴ است که با افزایش میزان مسیردهی رواناب نواحی نفوذناپذیر به نواحی نفوذپذیر کاهش چشم‌گیری در حجم رواناب و بار کل TSS و COD خروجی رخ می‌دهد. منظور از میزان مسیردهی به نواحی نفوذپذیر این است که چه مقدار از رواناب نواحی نفوذناپذیر به جای اینکه به خروجی تخلیه شوند ابتدا به نواحی نفوذپذیر منتقل و سپس رواناب این دو ناحیه به خروجی هدایت شوند. در حقیقت این کمیت میزان رواناب سطوح نفوذناپذیر غیرمؤثر را نشان می‌دهد. سطوح نفوذناپذیر غیرمؤثر، رواناب را به سطوح نفوذپذیر هدایت می‌کنند؛ در مقابل، سطوح نفوذناپذیر مؤثر (EIA) سطوح نفوذناپذیری هستند که آب‌های جریان یافته در آن به طور مستقیم به سیستم زهکشی (مانند آبروها و کانال‌هایی که به خروجی متصل می‌شوند) هدایت می‌شود. در بیشتر حوضه‌های شهری، رواناب ناشی از سطوح نفوذناپذیر مؤثر سهم اصلی را در جریان سیلاب و آلودگی خروجی از حوضه دارد. برخی

این جدول ممکن است با راهکارهای قسمت سناریوسازی فرق کند؛ زیرا در اینجا هدف مقایسه راهکارها و در سناریوسازی هدف تعریف سناریویی مناسب و سازگار با عوامل طبیعی است. همان‌طور که دیده می‌شود میزان حذف در سه نوع سیستم ماند بیولوژیکی، سطوح نفوذپذیر و ترانشه‌های نفوذ به نسبت جوی‌باغچه، به دلیل ماهیت چند لایه، قابلیت نگهداشت سطحی و زیرسطحی و همچنین قابلیت فیلتراسیون این سه نوع BMP بیشتر است.

سناریوسازی خواهد آمد تلاش شد در اعمال این راهکارها، زیرحوضه‌هایی که مقدار نسبت بیان شده در آن‌ها بیشتر است در اولویت قرار گیرند.

جدول ۴ به کارگیری BMPها را در کل حوضه نشان می‌دهد. در جدول ۴ علاوه بر این چهار نوع راهکار سازه‌ای، راهکاری غیرسازه‌ای نیز توصیه شد و آن عبارتست از: در همه زیرحوضه‌ها ۱۰ درصد از نواحی نفوذناپذیر کاسته شده و همزمان با آن، ۵۰ درصد از رواناب این نواحی به نواحی نفوذپذیر مسپردگی شده و از آنجا به خروجی ریخته شود. لازم به ذکر است راهکارهای

جدول ۴- مقایسه‌ی عملکرد BMPهای استفاده شده در کاهش حجم و حذف آلاینده‌های رواناب

شماره BMP	نوع BMP مورد استفاده	میزان کاهش در حجم رواناب خروجی (%)	میزان حذف کل بار TSS خروجی (%)
۱	جوی باغچه	۵۳/۸	۵۵/۴
۲	سلول ماند بیولوژیکی	۸۵/۷	۸۷
۳	روسازی نفوذپذیر	۸۴/۱	۸۵/۶
۴	ترانشه‌های نفوذ	۸۸/۱	۸۸/۵
۵	راهکار غیرسازه‌ای	۵۵/۶	۵۵/۷

تحلیل سناریو

با توجه به تحلیل حساسیت انجام گرفته، چند سناریو برای ارائه طرحی مناسب از کاربرد راهکارها در حوضه مورد بررسی برای دستیابی به سطح قابل توجهی در کاهش حجم رواناب و حذف آلاینده‌ها ارائه شده است. سناریوها در جدول ۵ و نتایج آن‌ها در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است. کارایی از رابطه ۵ به دست آمده است. در جدول ۶ هدف مقایسه سناریوهای پنج‌گانه تحت سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف و تحلیل درازمدت بوده است. با توجه به جدول، روسازی نفوذپذیر عملکردی بهتر نسبت به دیگر راهکارها داشته است. دلیل این امر، جاگذاری این نوع راهکار در زیرحوضه‌های بیشتر و بحرانی‌تر است. همان‌طور که در سناریوی ۶ دیده می‌شود زمانی که از ترکیب چهار نوع راهکار سازه‌ای استفاده شد حذف قابل توجهی در آلاینده‌ها (حدود ۷۰٪) پدید آمد.

قابل توجهی در راندمان حذف آلاینده‌ها و کاهش حجم رواناب پدید آمد. این نتیجه به استثناء رفتار سناریوی ۴ با آنچه دیگر پژوهش‌گران ارائه کرده‌اند هماهنگی دارد (احمدی‌شرف، ۱۳۹۱). رفتار ترانشه نفوذ در سناریوی ۴، به دلیل ماهیت ظرفیت نگهداشت ترانشه‌ی نفوذ و ابعاد بزرگ انتخاب شده برای آن است که حتی برای روانابی که در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به آن منتقل می‌شود نیز پاسخ‌گو است؛ زیرا با توجه به سناریوی تعریف شده، فقط در زیرحوضه‌های مشخصی، رواناب منطقه محدود و کوچکی به این تجهیزات هدایت می‌شود. اما نکته قابل توجه، راندمان سناریوی ۵ یعنی راهکار غیرسازه‌ای است؛ کاهش حجم رواناب و حذف آلاینده‌ها در حدود ۳۰٪، عملکرد مناسبی نسبت به سناریوهای دیگر می‌باشد به ویژه اینکه با افزایش دوره بازگشت سیلاب و همچنین در شیب‌سازی پیوسته تأثیری در عملکرد این سناریو پدید نیامده است. در جدول ۷، ارزیابی اقتصادی طرح با توجه به آن‌چه که در بخش قبل گفته شد ارائه شده است. در اینجا، نسبت درصد حذف به هزینه سناریو (شاخص بهینه بر اساس رابطه ۶) در نظر گرفته شده است؛ بدین معنی که هرچه این نسبت برای یک

در سناریوی ۱، برای جوی باغچه، به دلیل عدم امکان نگهداشت و فرصت بسیار کم نفوذ رواناب در سیلاب‌های با دبی زیاد (به علت سرعت و جریان زیاد) کاهش دبی نیز بسیار کم و در حد صفر است. در کلیه راهکارهای سازه‌ای به جز سناریوی ۴ با افزایش سیلاب طرح کاهش

آن‌ها بالا است سناریوی ۱۴ دارای درصد حذف بیشتری است (درصد حذف ۴۳٪) و می‌تواند گزینه مناسبی برای طرح باشد؛ ترانشه‌های نفوذ در همه سناریوهای با شاخص بهینه‌ی بالا وجود داشته است.

سناریو بیشتر باشد آن سناریو از نظر عملکردی و اقتصادی مطلوب‌تر است.

سناریوهایی که درصد حذف بالای ۵۰٪ و سناریوهایی که شاخص بهینه در آن‌ها بیشتر از دیگر سناریوهاست برجسته شده‌اند؛ در میان سناریوهایی که نسبت مذکور در

جدول ۵- تعریف سناریوها

شماره	تعریف سناریو
۱	در سناریوی ۱، در ۷ زیرحوضه که فضای مناسب در اختیار بوده است از جوی باغچه استفاده شده است این فضای مناسب در زیر حوضه‌های شامل حاشیه بزرگراه‌ها وجود دارد.
۲	در این سناریو، از سامانه ماند زیستی در ۷ زیرحوضه‌ای که دارای فضای سبز مناسب جهت احداث این نوع BMP بوده‌اند استفاده شده است.
۳	در سناریوی ۳ سعی شده است با توجه به اینکه روسازی نفوذپذیر دارای راندمان بالایی هست بنابراین از این BMP در زیرحوضه‌های بحرانی استفاده شود. با این روند، ۸ زیر حوضه دارای روسازی نفوذپذیر به‌عنوان BMP شده‌اند.
۴	در سناریوی ۴ سعی شده است با توجه به اینکه ترانشه نفوذ دارای راندمان بالایی هست از این BMP نیز در زیر حوضه‌های بحرانی استفاده شود. با این روند، ۵ زیر حوضه دارای ترانشه نفوذ به‌عنوان BMP شده‌اند.
۵	راهکار غیر سازه‌ای: کاهش ۵ درصدی نفوذناپذیری و مسیر دهی ۲۵ درصد از رواناب نواحی نفوذناپذیر به نواحی نفوذپذیر

جدول ۶- عملکرد سناریوهای ساخته شده تحت دوره‌های متفاوت

شماره	سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله (دبی متوسط = ۷۷/۹۴ L/s)			سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله (دبی متوسط = ۱۴۹/۸۶ L/s)			سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (دبی متوسط = ۲۲۹/۳۵ L/s)			تحلیل پیوسته به مدت ۱ ساله (۱۳۴ ۳۸۶ m ³ /Year)		
	کاهش رواناب (%)	حذف COD (%)	حذف TSS (%)	کاهش رواناب (%)	حذف COD (%)	حذف TSS (%)	کاهش رواناب (%)	حذف COD (%)	حذف TSS (%)	کاهش رواناب (%)	حذف COD (%)	حذف TSS (%)
۱	۱۱/۲۷	۱۱/۳۷	۱۱/۲۹	۷/۰۳	۷/۰۱	۶/۹۶	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۲	۱/۴	۱/۴	۱/۴
۲	۱۹/۹۶	۱۷/۰۴	۱۶/۹	۱۳/۹۱	۱۲/۳۳	۱۲/۲۵	۹/۳۲	۸/۲۶	۸/۲۱	۱۱/۷۵	۱۰/۰۸	۱۰
۳	۲۴/۹۸	۲۷/۱۹	۲۷/۴۵	۲۴/۷۵	۲۶/۹۸	۲۷/۲۴	۲۲/۳	۲۴/۳۴	۲۴/۵۹	۱۶/۱۸	۱۷/۹	۱۸/۰۶
۴	۱۳/۵۴	۱۴/۷۲	۱۴/۶۹	۱۳/۵۴	۱۴/۶۵	۱۴/۶۱	۱۳/۵۵	۱۴/۶۱	۱۴/۵۸	۹/۴۴	۱۰/۰۹	۱۰/۰۴
۵	۲۹/۲	۲۹/۲	۲۹/۰۹	۲۹/۰۹	۲۹/۰۹	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴	۲۹/۱۴
۶ (۴ تا ۱)	۶۹/۷۵	۷۰/۳۲	۷۰/۳۳	۵۹/۲۳	۶۰/۸۷	۶۱/۰۶	۴۹/۷۱	۵۱/۷۵	۵۱/۸۸	۳۷/۳۷	۳۹/۴۷	۳۹/۵

ایران توکلی (۱۳۹۰) عملکرد جوی باغچه را از نظر هزینه در مقابل برکه و سامانه ماند زیستی مناسب‌تر تشخیص داده است. همچنین ثابتی (۱۳۹۰) عملکرد جوی باغچه را نسبت به روسازی نفوذپذیر بهتر تشخیص داده است (فاسمن، ۲۰۱۲؛ توکلی، ۱۳۹۰ و ثابتی، ۱۳۹۰).

در نتایج این پژوهش شاخص بهینه سناریوی اول نسبت به دو شاخص بهینه سناریوی دوم و سناریوی سوم بیشتر قابل مشاهده است. همچنین نتایج پژوهش اورایی زارع و همکاران (۲۰۱۲) نشان از عملکرد بهتر سامانه ماند زیستی نسبت به روسازی نفوذپذیر دارد. با توجه به بیشتر بودن شاخص بهینه سناریوی دوم به شاخص بهینه

در سناریوی ۱۵ نیز ترکیب چهار سناریو با درصد حذف ۷۰٪ و هزینه ۱/۶۴ میلیارد تومانی آورده شده است. عملکرد این راهکارها در نتایج پژوهش‌های دیگر نیز مثبت ارزیابی شده است فاسمن (۲۰۱۲). عملکرد راهکارهای کنترل آلودگی از مبدأ و مقیاس کوچک مانند سامانه ماند زیستی، جوی باغچه و روسازی نفوذپذیر را با عملکرد راهکارهای مقیاس بزرگ مانند برکه‌های ماند خشک و حوضچه‌های ماند زیستی بدون در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی مقایسه کرده است و عملکرد راهکارهایی چون ماند زیستی، جوی باغچه و روسازی نفوذپذیر را نسبت به راهکارهای دسته دوم مطلوب‌تر ارزیابی کرده است. در

است. بر اساس نتایج این پژوهش که مشابه نتایج لی و همکاران (۲۰۱۲) و شاو و همکاران (۲۰۰۳) بود راندمان حذف آلودگی و کاهش دبی، با افزایش مساحت، تعداد راهکارها و نیز مساحت منطقه زهکشی شده هر راهکار، افزایش می‌یابد.

سناریوی سوم نتیجه مشابهی از این پژوهش برداشت می‌شود. همچنین عملکرد دو نوع راهکار روسازی نفوذپذیر در پیاده‌روها و سیستم‌های ماند توسط لی و همکاران (۲۰۱۲) در کاهش ۷۰٪ دبی جریان سالیانه و درصد حذف بسیار بالای جامدات کل معلق در بیشتر سناریوهای تعریف شده در پژوهش‌هایشان بسیار مثبت ارزیابی شده

جدول ۷- عملکرد سناریوهای ساخته شده و هزینه هر یک از آنها

شماره	سناریو	حذف TSS کل (%)	قیمت (میلیارد ریال)	شاخص بهینه (OPT)
۱	۱	۱۱/۳۷	۲/۶۷۹	۴۲/۴۳
۲	۲	۱۷/۰۴	۴/۲۳۰	۴۰/۲۸
۳	۳	۲۷/۱۹	۷/۰۸۸	۳۸/۳۶
۴	۴	۱۴/۷۲	۲/۴۳۵	۶۰/۴۶
۵	ترکیب ۱ و ۲	۲۸/۴۱	۶/۹۰۹	۴۱/۱۲
۶	ترکیب ۱ و ۳	۳۸/۵۶	۹/۷۶۸	۳۹/۴۸
۷	ترکیب ۱ و ۴	۲۶/۰۹	۵/۱۱۴	۵۱/۰۱
۸	ترکیب ۲ و ۳	۴۴/۲۳	۱۱/۱۳۲	۳۹/۰۸
۹	ترکیب ۲ و ۴	۳۱/۷۶	۶/۶۶۵	۴۷/۶۵
۱۰	ترکیب ۳ و ۴	۴۱/۹۱	۹/۵۲۳	۴۴/۰۱
۱۱	ترکیب ۱ و ۲ و ۳	۵۵/۶	۱۳/۹۹۸	۳۹/۷۲
۱۲	ترکیب ۱ و ۳ و ۴	۵۳/۲۸	۱۲/۲۰۳	۴۳/۶۶
۱۳	ترکیب ۲ و ۳ و ۴	۵۸/۹۵	۱۳/۷۵۳	۴۲/۸۶
۱۴	ترکیب ۱ و ۲ و ۴	۴۳/۱۳	۹/۳۴۴	۴۶/۱۶
۱۵	ترکیب ۱ تا ۴	۷۰/۳۲	۱۶/۴۳۳	۴۲/۷۹

نتیجه‌گیری

از مشخصات زیرحوضه آنچه که تأثیر فراوانی بر کمیت و کیفیت رواناب ایجاد می‌کند، نفوذپذیری و مسیردهی به نواحی نفوذپذیر و همچنین نوع کاربری اراضی است؛ از دو مورد اول برای طرح و ایجاد بهترین راهکارهای مدیریتی غیرسازه‌ای و از ویژگی سوم برای تعیین زیرحوضه‌های بحرانی استفاده شد. در ارزیابی هزینه‌ها ترانسه نفوذ از سه نوع دیگر عملکرد بهتری داشت زیرا شاخص بهینه بزرگ‌تری را دارا بود. همچنین در سناریویی که از ترکیب هر چهار نوع راهکار مدیریتی سازه‌ای استفاده شد امکان حذف ۷۰٪ آلاینده‌ها با هزینه‌ی ۱/۶۴ میلیارد تومان فراهم شد. گرچه برای انتخاب ترکیب بهینه بهترین راهکارهای مدیریتی، روش‌های نوین و دقیق‌تری (نسبت به تعیین سناریوی مناسب) مانند روش‌های برنامه‌ریزی خطی و بهینه‌سازی تکاملی وجود دارد، اما تحلیل داده‌ها و تعیین سناریوی مناسب مزایای خاص خود را دارد. از

در حقیقت، همان‌طور که لی و همکاران (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند افزایش مساحت زمین‌های زهکش شده برای بهترین راهکارهای مدیریتی اصلی‌ترین و بحرانی‌ترین مشکل به‌کارگیری آن برای پیشرفت در کاهش دبی و کاهش بار آلودگی است. البته افزایش مشخصات بالا، هزینه احداث راهکارها را افزایش می‌دهد که این مسئله از صرفه اقتصادی طرح کم می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۱۲ و شاو و همکاران، ۲۰۰۳). در نهایت، می‌توان گفت عملکرد راهکارها بیشتر به عوامل محیطی، هیدرولوژی و اندازه راهکارها بستگی دارد. بنابراین تشخیص مناطق آلوده‌کننده بحرانی و مکان‌یابی بهترین راهکارهای مدیریتی، نقش مهمی در کاهش آلودگی دارند. این مطلب در نتایج پژوهش فاسمن (۲۰۱۲) و گیری و همکاران (۲۰۱۲) نیز ذکر شده است.

- دانش پژوهان. اصفهان. ۱۱ ص.
۱۱. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهوری. ۱۳۹۲. فهرست بهای واحد پایه رشته ابنیه سال ۱۳۹۲. ۱۷۴ ص.
12. Fassman E. 2012. Stormwater BMP treatment performance variability for sediment and heavy metals. *Separation and Purification Technology* 84: 95-103.
13. Giri S. Nejadhashemi A. P. and Woznicki S. A. 2012. Evaluation of targeting methods for implementation of best management practices in the Saginaw River Watershed. *Journal of Environmental Management*. 103: 24-40.
14. Gironás J. Roesner L. A. and Davis J. 2009. Storm water management model applications manual. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 179 p.
15. Jacobson C. R. 2011. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management* 92: 1438-1448.
16. Jia H. Lu Y. Yu S. and Chen Y. 2011. Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. *Separation and Purification Technology*. 84: 112-119.
17. Kaplowitz M. D. 2012. Stakeholder preferences for best management practices for non-point source pollution and stormwater control. *Landscape and Urban Planning*. 104: 364-372.
18. Lee K. Kim H. Pak G. Jang S. Kim L. Yoo C. Yun Z. and Yoon J. 2010. Cost-effectiveness analysis of stormwater best management practices (BMPs) in urban watersheds. *Desalination and Water Treatment*. 19(1-3): 92-96.
19. Lee J. G. Selvakumar A. Alvi K. Riverson J. Zhen J. X. Shoemaker L. and Lai F. 2012. A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. *Environmental Modelling & Software*. 37: 6-18.
20. Matlock M. Tate R. Niederman Z. Lewis S. E. and Metrailer J. 2010. Low Impact Development Manual for Arkansas. Center for Agricultural and Rural Sustainability. 86 p.
21. Oraei Zare S. Saghafian B. and Shamsai A. 2012. Multi-objective optimization for combined quality-quantity urban runoff control. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16(12): 4531-4542.
22. Park D. and Roesner L. A. 2012. Evaluation of pollutant loads from stormwater BMPs to receiving water using load frequency curves with uncertainty analysis. *water research*. 46: 6881-6890.
23. Rohrer C. A. Postel N. O'Neill P. and Roesner L. 2005. Development of Design Criteria for Regional Stormwater Management Facilities to جمله این مزایا، سادگی روش، زمان کمتر، انعطاف‌پذیری بیشتر، قدرت بیشتر طراح در تصمیم‌گیری نسبت به سایر روش‌ها، امکان شناخت عوامل تأثیرگذار و در نتیجه، ارائه‌ی طرح و سناریوهای بهتر (به ویژه راهکارهای غیرسازه‌ای) است.
- ### منابع
۱. احمدی شرف ا. ۱۳۹۱. تعیین مکان‌های مناسب قرارگیری حوضچه‌های ذخیره به منظور کنترل سیلاب‌های شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف. ۱۷۴ ص.
 ۲. اسکونژاد م. م. ۱۳۹۰. اقتصاد مهندسی. انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران. ۴۵۵ ص.
 ۳. توکلی س. ۱۳۹۰. بهبود کیفیت رواناب شهری با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف. ۱۶۴ ص.
 ۴. ثابتی ا. ۱۳۹۰. مدل‌سازی کمی رواناب‌های شهری و بررسی تأثیر نفوذپذیری بر دبی سیلاب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف. ۱۸۹ ص.
 ۵. سلطانی م. تجربی‌شی م. و ابریشم‌چی ا. ۱۳۸۹. مدل‌سازی کیفی نهرهای درون‌شهری با بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی بهبود کیفیت رواناب (مطالعه موردی: نهر ولنجک). چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران.
 ۶. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۸۹. بازنگری طرح جامع آب‌های سطحی تهران، جلد پنجم - مطالعات زیست محیطی. ۲۳۶ ص.
 ۷. حفیظی م. و پاشاخانلو ف. ۱۳۸۵. برآورد ضریب آبگذری از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی در دشت تهران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. ۲(۳۲): ۱۳-۲۲.
 ۸. علیزاده ا. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد. ۹۲۷ ص.
 ۹. کاظمی پرکوهی ف. ۱۳۹۰. خصوصیات ذرات موجود در رواناب شهر تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف. ۱۲۳ ص.
 ۱۰. کمالی م. و تجربی‌شی م. ۱۳۹۰. به کارگیری روسازی نفوذپذیر در مدیریت رواناب شهری. کنفرانس ملی توسعه‌ی پایدار و عمران شهری. مؤسسه آموزش عالی

- Maintain Geomorphic Stability in Cedar Creek. Proceedings of Impacts of Global Climate Change. 1-10.
24. Rossman L. A. 2010. Storm water management model user's manual. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 285 p.
 25. Shaw L. Zhen J. and Zhai S. 2003. Development of a stormwater best management practices placement strategy for the Virginia Department of Transportation. Virginia Transportation Research Council. 28 p.
 26. Shirmohammadi A. Chaubey I. Harmel R. Bosch D. Muñoz-Carpena R. Dharmasri D. Sexton A. Arabi M. Wolfe M. Frankenberger J. Graff C. and Sohrabi T. 2006. Uncertainty in TMDL Models. American Society of Agricultural and Biological Engineers 49(4): 1033-1049.
 27. Smith C. Lejano R. Ogunseitan O. and Hipi J. 2007. Cost Effectiveness of Regulation Compliant Filtration to Control Sediment and Metal Pollution in Urban Runoff. Environmental Science and Technology. 41(21): 7451-8.
 28. Temprano J. Arango O. Cagiao J. Suárez J. and Tejero I. 2005. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. Water SA. 32(1): 55-63.
 29. United States Environmental Protection Agency. 1999. Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench. EPA. 7 p.
 30. U.S. EPA. 1999. Preliminary Data Summary of Urban Stormwater Best Management Practices. EPA. 65 p.
 31. Yang J. and Myers M. 2007. Study of stormwater runoff reduction by greening vacant lots in north Philadelphia. Research and Community Projects. Temple University. 175 p.
 32. Young K. D. Younos T. Dymond R. L. and Kibler D. F. 2009. Virginia's Stormwater Impact Evaluation: Developing an Optimization Tool for Improved Site Development, Selection and Placement of Stormwater Runoff BMPs. Virginia Water Resources Research Center. 189 p.