سال پنجم، شماره ۱، ۱۳۹۷، صفحات ۹۳ تا ۱۰۰
نشریه آب و توسعه پایدار

2018, Vol.5, No.1, Pages 93 to 100
Journal of Water and Sustainable Development

توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری

قاسم پناهی[۱]، کاظم اسماعیلی[۲*]

۱و۲-به ترتیب کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: esmaili@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

کنترل و جمع‌آوری سیلاب‌ها از مهم‌ترین و اساسی‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبریز است، که در شهرها به دلیل توسعه شهری و تغییرات قابل توجه در الگوی طبیعی حوضه آبریز، اهمیت بیشتری می‌یابد. در گذشته رویکرد مدیریتی، سیلاب شهری بسیاری از کشورها به صورت سنتی و معطوف به جمع‌آوری، انتقال و دفع آن بوده است. اما امروزه رویکرد مدرن در مدیریت سیلاب شهری با تکیه بر روش‌هایی که بیشترین تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی که اصطلاحاً روش‌های توسعه کم‌اثر نامیده می‌شود، پیشنهاد می‌شود. بکارگیری این روش به‌عنوان یکی از راهبردهای مهم در مدیریت سیلاب شهری به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته هر روزه اهمیت بیشتری پیداکرده و رو به گسترش است. در ایران نیز به دلیل رشد شهرنشینی و شکل‌گیری کلان‌شهرها، مسئله مدیریت سیلاب‌شهری هر روزه اهمیت بیشتری می‌یابد. در این راستا هزینه‌های زیادی برای مدیریت سیلاب شهری به روش سنتی با ایجاد انواع سازه‌ها، برای جمع‌آوری و دفع سیلاب صرف شده و کمتر به روش‌های توسعه کم‌اثر توجه شده است. در این پژوهش سعی شده تا روش‌های توسعه کم‌اثر معرفی شده و روش‌های اجرا شده و جایگاه آن در مدیریت سیلاب شهری بیان شود. همچنین بهترین راهکارهای مدیریتی برای مناطق مختلف ایران معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز، آبنمود سیلاب، توسعه شهری، بهترین راهکارهای مدیریتی.

Recommendation of New Approaches for Urban Flood Management

Gh. Panahi[1], K. Esmaili[2*]

1,2- Masters of Water Structures and Associate Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: esmaili@um.ac.ir)

Received: 13-02-2017
Accepted: 07-02-2018

Abstract

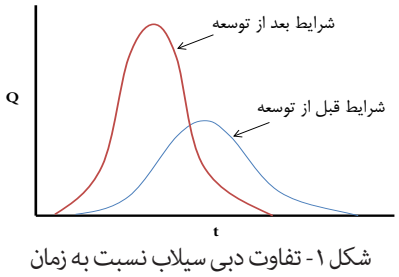
Control and collection of flood runoffs are one of the most important and fundamental issues in the watershed management which is more important in cities due to urban development and significant changes in the natural pattern of the watershed. In many countries, traditional urban flood management approaches have focused on the collection, transport, and dispose of the flood runoffs. Nowadays, a modern approach in urban flood management is recommended which relies on methods that best fit the natural cycle of surface water processes, namely "low-impact development" methods. Using this method as one of the key strategies in urban flood management, especially in developed countries, is becoming more important. In Iran, due to the growth of urbanisation and the formation of large cities, urban flood management has growing importance. Therefore, large investments have been made on urban flood management with a traditional approach by creating a variety of structures for flood collection and disposal, and less attention has been paid to low-impact development methods. In this study, low-impact development methods are introduced and already implemented procedures and their role in urban flood management are expressed. Moreover, the best management solutions for different regions of Iran are introduced.

Keywords: Watershed, Flood hydrograph, Urban development, Best management practices.

DOI: 10.22067/jwsd.v5i1.62583

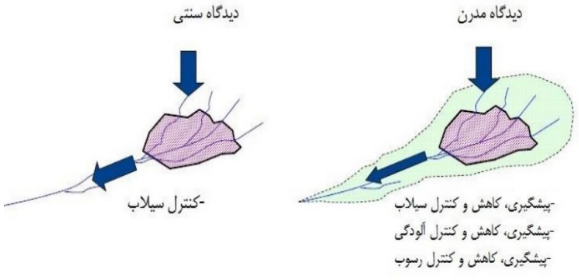
مقدمه

حوضه‌های شهری همان حوضه‌ی آبریز طبیعی هستند که به مرور زمان پوشش طبیعی خود را از دست داده و به سطوح نفوذناپذیر شهری تبدیل شده‌اند (Chow و همکاران، ۱۹۸۸). با توجه به ساخت‌وساز روزافزون در شهرها و ایجاد کلان شهرها، سطوح نفوذناپذیر حوضه‌ها در حال گسترش بوده و شرایط هیدرولوژیکی آن‌ها در حال تغییر می‌باشد. تأثیر چنین تغییراتی را در تغییر آبنمودهای سیلاب‌ها می‌توان مشاهده کرد. شکل (۱) به طور شماتیک تغییر آبنمود[1] سیلاب را قبل و بعد از توسعه حوضه شهری نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۱) پیداست، با توسعه شهری و کاهش سطوح نفوذپذیر در حوضه، مدت زمان نفوذ رواناب ناشی از سیلاب در حوضه کاهش یافته و همین امر باعث افزایش دبی حداکثری سیلاب در زمان وقوع آن می‌شود.



شکل ۱- تفاوت دبی سیلاب نسبت به زمان قبل و بعد از توسعه حوضه شهری

همان‌طور که بیان شد در گذشته رویکردهای مدیریت سیلاب‌های شهری، بر اساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌ها بوده است در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، بر بکارگیری روش‌هایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد. هدف از رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، کنترل و کاهش سیلاب و انتقال آلودگی ناشی از آن می‌باشد. این روش‌ها که در آن‌ها تأکید بر حداکثر تطابق با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی می‌باشد را اصطلاحاً روش‌های "توسعه کم‌اثر[2]" می‌گویند. این مفهوم، برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ در ایالات متحده آمریکا، مطرح شد. به دلیل توسعه شهرها و افزایش جمعیت و در نتیجه آن بوجود آمدن تغییرات گسترده در شرایط هیدرولوژیکی حوضه و مشکلات ناشی از سیلاب‌های شهری و از طرف دیگر فواید اقتصادی بکارگیری روش توسعه کم‌اثر در مدیریت سیلاب شهری و جلوگیری از ایجاد خسارت در زیرساخت‌های شهری، روش‌های توسعه کم‌اثر در کشورهای توسعه یافته روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در شکل (۲)، تفاوت‌های کلی دو دیدگاه سنتی و مدرن قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که از شکل مشخص است، در دیدگاه سنتی مدیریت سیلاب، مطالعات به قسمتی از حوضه مورد نظر محدود می‌شود در حالی که در روش‌های نوین مدیریت سیلاب، محدوده مطالعات و عملیات‌های اجرایی بخش گسترده‌تری از حوضه را در بر می‌گیرد. دلیل این امر این است که در روش‌های توسعه کم‌اثر، عملیات اجرایی مدیریت سیلاب تنها به جمع‌آوری و انتقال سیلاب محدود نشده و هدف اصلی آن کنترل و کاهش سیلاب‌ها و انتقال آلودگی ناشی از سیلاب‌ها می‌باشد.



شکل ۲- تفاوت‌های کلی دو دیدگاه مدرن و سنتی

عمده‌ترین پیامد توسعه شهری از منظر مدیریت رواناب، کاهش سطوح نفوذپذیر حوضه و در نتیجه کاهش زمان حرکت آب بر روی این سطوح و افزایش حجم رواناب و اوج آبدهی و همچنین افزایش تماس با آلودگی‌ها و در نتیجه کاهش کیفیت رواناب، می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، در روش توسعه کم‌اثر، سعی بر حفظ و بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوضه آبریز و بهبود شرایط زیست‌محیطی در آن است. این روش عملا شامل مجموعه‌ای از روش‌های برنامه‌ریزی اراضی و طراحی مهندسی است که برای مدیریت رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های شهری بکار گرفته می‌شود و ابزاری برای مدیریت سیلاب در حوضه آبریز می‌باشد. به عبارت ساده روش توسعه کم‌اثر، تاکید بر حفاظت از سیمای طبیعی حوضه برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب را دارد و از فرصت‌های محیطی، در مدیریت رواناب‌های سطحی در راستای احیاء چرخه طبیعی آب حداکثر استفاده را می‌کند. کاربردهای اختصاصی روش توسعه کم‌اثر و تکنیک‌های بکار گرفته شده در مدیریت سیلاب‌های شهری را می‌توان به ۴ دسته کلی تقسیم کرد. این ۴ دسته عبارتند از:

۱) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز: این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که انتخاب گیاه، انطباق گیاه با محیط، آبیاری و شیوه‌های فرهنگی و مدیریتی را یکپارچه می‌سازند. از این دسته می‌توان به آبراهه‌هایی با پوشش گیاهی یا جوی باغچه، آبراهه‌های زیستی، باغچه‌های ذخیره باران، آبراهه‌ها یا حوضچه‌ها یا ترانشه‌های نفوذی، محدوده همجوار ضربه‌گیر و پارک‌ها و فضاهای باز اشاره کرد. شکل (۳) نمونه‌هایی از این موارد را نشان می‌دهد.

آبراهه‌هایی با پوشش گیاهی یا جوی‌باغچه‌ها، کانال‌های روباز پیش ساخته‌ای هستند که وظیفه آن‌ها هدایت و انتقال رواناب سطحی و نفوذ آن است. طراحی این سازه‌ها با توجه به شیب، طول، عمق، نوع پوشش گیاهی و ... انجام می‌شود. این سازه‌ها جایگزین مناسبی برای جوی‌های بتنی موجود در شهرها می‌باشد. در ادامه برخی از خصوصیات این سازه‌ها آورده شده است.

- به عنوان جایگزینی برای سیستم‌های سنتی انتقال رواناب می‌باشند.
- این سازه به طور معمول سطح مقطع ذوزنقه یا سهمی دارد.
- حجم رواناب به وسیله نفوذ دادن رواناب کاهش می‌یابد.
- با توجه به نفوذ دادن رواناب به داخل زمین، کیفیت آب بهبود پیدا می‌کند.
- با توجه به طولانی شدن مسیر جریان و افزایش زبری، سرعت رواناب کاهش پیدا می‌کند.

آبراهه‌های زیستی[3]، سازه‌هایی هستند که به منظور حذف گل و لای و آلودگی از رواناب، به کار گرفته می‌شوند. این سازه، پوشیده از پوشش گیاهی و سنگچین و شیب جانبی کمتر از ۶ درصد است. با توجه به اینکه زبری این آبراهه‌ها زیاد می‌باشند، در نتیجه سرعت آب داخل این آبراهه‌ها کاهش یافته و این امر موجب انتقال کمتر رسوبات همراه جریان می‌شود.

باغچه‌های ذخیره باران[4]، قطعه زمین‌هایی پوشیده از گیاه هستند که برای رواناب ناشی از سطوح نفوذناپذیری مانند پشت‌بام‌ها، پیاده‌روها و ... شرایط نفوذ را فراهم می‌کند. این سازه مسئولیت کاهش حجم رواناب و آلودگی آن را از طریق نفوذ آن به زمین دارد. باغچه‌های ذخیره باران قابلیت طراحی و کارگذاری در انواع خاك و اقلیم‌های متفاوت را دارند. باغچه‌های ذخیره باران از نظر ظاهری مانند یک باغچه معمولی به نظر می‌رسند که پوشیده از انواع گیاهان است. اما زیر این باغچه فرآیندهای زیادی در حال وقوع است که شرایط هیدرولوژی یک سطح جنگلی طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند. این سازه در واقع یک سازه ذخیره‌ای - زیستی است، با این تفاوت که رواناب ورودی، حجم و آلودگی کمتری دارد. باغچه‌های ذخیره‌ای به طور معمول برای زهکشی ۴ ساعته، بعد از وقوع یک اینچ بارندگی طراحی می‌شوند. بنابراین گیاهانی که برای استفاده در این سازه انتخاب می‌شوند، می‌بایست تحمل حالت غرقابی در زمان بارندگی و تحمل خشکی را در فاصله بین بارندگی‌ها داشته باشند.

ترانشه‌های نفوذی[5]، خندق‌های خطی طویل و کم عرضی هستند که درون آن‌ها با ذرات درشت دانه و قطعه‌سنگ‌ها پر می‌شود و معمولا مجرای خروجی ندارد. رواناب ورودی به این سیستم در فضای خالی مابین ذرات درشت دانه موقتاً ذخیره می‌شود و به تدریج از کف و دیواره‌ها به دورن خاك اطراف ترانشه نفوذ می‌کند. هدف اصلی این سازه کنترل کیفیت رواناب است. خاك داخل این ترانشه‌ها نفوذپذیری بسیار بالایی دارد که به رواناب ورودی اجازه می‌دهد تا با سرعت بسیار زیادی به زمین نفوذ کند. از مزایای این سازه کاهش حجم رواناب، کنترل و کاهش آلودگی رواناب و در نهایت تغذیه آب زیرزمینی است. رواناب خروجی از اماکن و محوطه‌هایی همچون پارکینگ‌ها و نواحی اطراف اتوبان‌ها را می‌توان به سمت ترانشه‌های نفوذی هدایت کرد و به داخل زمین انتقال داد. بنابراین ترانشه‌های نفوذی را می‌توان برای زهکشی رواناب یک محوطه به جای جوی‌های بتنی و یا در کنار آن‌ها توصیه نمود.

شکل ۳- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز: الف)آبراهه با پوشش گیاهی ب)آبراهه زیستی ج)باغچه ذخیره باران د)ترانشه نفوذپذیر

۲) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها: این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که در ساختمان‌ها، مناطق مسکونی و تجاری بیشترین کاربرد را دارند. از این دسته می‌توان به بام‌های سبز، آب‌انبارها و مخازن ذخیره باران و زنجیره‌های باران اشاره کرد.

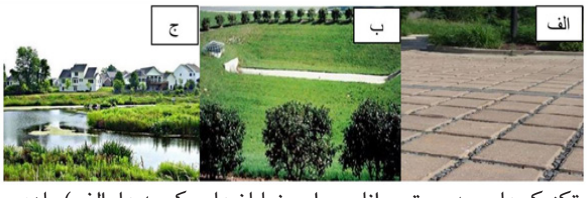
شکل ۴- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها: الف)بام سبز ب)مخزن ذخیره آب باران ج)زنجیره باران

بام سبز[6]، یک بام یا قسمتی از بام است که پوشیده از پوشش گیاهی است. بام سبز از چند لایه تشکیل شده است که عبارتند از: لایه ضد آب، میان لایه پوشش گیاهی مهندسی شده، لایه زهکشی و گیاهان مخصوص. بام‌های سبز قابلیت نصب بر روی اکثر بام‌ها را دارند. بام‌های سبز در کاهش حجم و سرعت رواناب، راندمان بالا و تأثیر بسزایی دارند. بدین صورت که رواناب را برای مدت کوتاهی در خود ذخیره و به تدریج به سمت فاضلاب هدایت می‌کنند. همچنین میزان تبخیر-تعرق را به طور چشمگیری افزایش می دهند.

مخازن ذخیره باران[7]، مخازنی هستند که آب تجمع‌یافته در پشت‌بام‌ها را در خود ذخیره می‌کنند. از آب ذخیره شده برای استفاده مجدد در آبیاری چمن‌ها، باغچه‌ها، گلدان‌های پشت پنجره‌ها و یا درختان خیابان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مخازن با ذخیره آب باران و جلوگیری از ورود آن به سیستم انتقال رواناب شهر باعث کاهش حجم رواناب خواهند شد. باید توجه داشت که این مخازن در صورتی که بین دو بارندگی تخلیه شوند و از آب آن‌ها استفاده مجدد شود، با وجود حجم کمی که دارند در کاهش حجم رواناب ورودی به سیستم‌های انتقال رواناب در زمان بارندگی‌های شدید، تأثیر بسزایی دارند.

زنجیره‌های باران[8]، سازه‌ای ساده که به عبارتی شبیه به یک ناودان مدرن عمل می‌کنند و وظیفه انتقال باران از بام به زمین را دارد. خروجی این سازه یا به زمین و برای تغذیه آب زیرزمینی است و یا در اکثر موارد برای استفاده‌های خانگی به یک مخزن هدایت می‌شود.

۳)بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها: این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که سعی بر به حداقل رساندن سطوح نفوذناپذیر و کنترل میزان رواناب، آلودگی و کنترل رسوب در معابر شهری و سطح شهر هستند. از این دسته می‌توان به پیاده‌روها و سنگ‌فرش‌های متخلخل، حوضچه‌های نگهداشت خشک، حوضچه‌های مرطوب، حوضچه‌های فیلترشنی و سیستم ماند بیولوژیکی اشاره کرد.



تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها: الف)پیاده‌رو متخلخل ب)حوضچه نگهداشت خشک ج)حوضچه نگهداشت مرطوب

پیاده‌روها و مسیرهای سنگ‌فرش متخلخل، از جمله روش‌هایی هستند که به آب اجازه نفوذ سریع داده و مانع از ایجاد رواناب می‌شوند. روکش‌های بسیار زیادی برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به آسفالت نفوذپذیر، بتن‌های نفوذپذیر و سنگ‌فرش‌های به هم پیوسته، اشاره کرد. قابلیت‌های این روش شامل ذخیره موقت رواناب، کاهش حجم و دبی اوج رواناب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت آب است. این روکش‌های نفوذپذیر را می‌توان به جای انواع سطوح نفوذناپذیر شهری به‌ویژه پیاده‌روها و پارکینگ‌ها بکار برد.

حوضچه‌های نگهداشت خشک، حوضچه‌هایی هستند که دهانه خروجی آن طوری طراحی شده است که بتواند رواناب را برای یک حداقل زمان(به طور مثال ۲۴ساعت)، نگه دارد تا اجازه دهد مواد و آلاینده‌ها ته‌نشین شوند. برای طراحی این سازه می‌بایست به شرایط منطقه اعم از نوع خاك، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، شیب منطقه، اطلاعات هیدرولوژیکی و میزان آلاینده‌های موجود در سیلاب‌ها، توجه گردد. این روش برای استفاده، به منطقه بسیار وسیعی برای ساخت نیاز دارد و ظرفیت و مساحت زهکشی آن بستگی به خصوصیات طراحی آن دارد. درصورتی که مخزن ذخیره سیلاب نیز در طراحی درنظر گرفته شود این سازه نقش کنترل سیلاب را نیز خواهد داشت. نکات کلیدی استفاده از این حوضچه‌ها وجود فضاهای کافی جهت احداث، توجه به عمق آب زیرزمینی، میزان آلاینده‌های موجود در منطقه(اگر میزان آلاینده‌های موجود در منطقه بالا باشد، این روش توصیه نمی‌گردد)، ایمن‌سازی دیواره‌های جانبی حوضچه و لایروبی و نگهداری مستمر آن است.

حوضچه‌های مرطوب، حوضچه‌های ساخته شده مصنوعی هستند که دارای یک استخر می‌باشد که در طول سال(یا حداقل در طول فصل مرطوب) دارای آب است. این حوضچه‌ها به ذرات موجود در رواناب ورودی اجازه ته‌نشین شدن می‌دهند و همچنین جلبک‌ها از مواد نامطلوب داخل آب تغذیه می‌کنند و به این ترتیب کیفیت رواناب بهبود پیدا می‌کند. مکانیزم حذف اولیه، به محض وارد شدن رواناب به سیستم اتفاق می‌افتد. اما جذب آلاینده‌ها توسط جلبک‌ها در طی فعالیت‌های بیولوژیکی در حوضچه اتفاق می‌افتد. حوضچه‌های مرطوب قابلیت استفاده در بسیاری از مکان‌ها را دارا هستند و محدودیت استفاده آن‌ها تنها در مناطق بسیار خشک است. این سازه موجب کاهش دبی اوج و در نتیجه حفاظت از کانال‌های پایین‌دست در برابر فرسایش و رسوب می‌شود و همان‌طور که اشاره شد قابلیت حذف آلاینده های محلول را دارد.

۴) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای طراحی ساختگاه‌ها: اجرای هر پروژه در یک سایت(ساختگاه) همواره همراه با تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی است. در روش های توسعه کم اثر، سعی بر این است که این تغییرات به حداقل میزان خود برسد. اصولا در این مرحله بیشتر از روش‌های غیرسازه‌ای از جمله کاهش سطوح نفوذناپذیر، سیستم زهکشی نفوذپذیر و به حداقل رساندن رواناب سطحی، بهره می‌برند. این تکنیک مدیریتی نیاز به بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان از تأثیرگذاری آن‌ها دارد. در حالت کلی ۳ نوع بازرسی برای این حالت وجود دارد. بازرسی عادی، بازرسی‌های قبل وقوع بارندگی و بازرسی‌های بعد از وقوع بارندگی.

سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در نشریه‌ای که برای مدیریت سیلاب‌های شهری ارائه کرده است، مراحل انتخاب بهترین راهکارهای مدیریتی را بر اساس مراحل زیر پیشنهاد داده است.

الف) امکان سنجی: در این مرحله قابلیت هر راهکار مدیریتی برای برآورده شدن نیاز مورد نظر، بررسی می‌گردد.

ب) تعریف اهداف طراحی: در این مرحله با استفاده از داده‌های هواشناسی، تکنیک‌های مدل‌سازی، مطالعات قبلی، داده‌های منتشر شده و غیره، به تعریف تمامی اهداف پروژه، مخصوصا حجم رواناب ورودی به سیستم بطور مشخص، تعریف می‌گردند.

ج) ارزیابی گزینه‌های طراحی: در این مرحله تمامی راهکارهای مدیریتی که قابلیت برآورده کردن اهداف تعریف شده در مرحله قبل را دارند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در نهایت تصمیم برای انتخاب بهترین گزینه گرفته می‌شود.

د) نهایی کردن طراحی و برآورد هزینه طرح‌های اجرا شده در کشورهای‌مختلف:

همان‌طور که اشاره شد روش‌های توسعه کم‌اثر بیشتر در کشورهای توسعه یافته اجرا شده است. در جدول (۱)، روش‌هایی از بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب که در کشورهای مختلف اجرا شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب در کشورهای مختلف

کشور	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای منظره و فضای سبز	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها	تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها
انگلیس	آبراهه زیستی - ترانشه نفوذ پذیر	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
فرانسه	آبراهه زیستی	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
آلمان	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
هلند	باغچه ذخیره باران - آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران - بام سبز	پیاده‌رو متخلخل- حوضچه نگهداشت مرطوب
ایتالیا		مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
استرالیا	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران - بام سبز	حوضچه نگهداشت مرطوب
آمریکا	باغچه ذخیره باران	زنجیره باران	پیاده‌رو متخلخل
ژاپن	آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران	حوضچه نگهداشت خشک
کره‌جنوبی	آبراهه با پوشش گیاهی	بام سبز	حوضچه نگهداشت خشک
تایلند	آبراهه زیستی	بام سبز	حوضچه نگهداشت خشک

تصمیم‌گیری در مورد اجرای بهترین تکنیک مدیریت روناب، شامل چند مرحله می‌باشد که در ادامه به اختصار بیان شده است.

- **بررسی کاربردها و محدودیت‌ها:** در این مرحله در ابتدا به بررسی میزان کاربرد و مزایای بهترین تکنیک مدیریتی مورد نظر پرداخته می‌شود. به این معنی که این تکنیک از مدیریت رواناب در کدام قسمت(کنترل پیک رواناب، کنترل رسوب، افزایش نفوذپذیری) کاربرد دارد. در گام بعدی محدودیت‌های استفاده از این تکنیک(محدودیت شیب، میزان رسوب، نوع خاك) بررسی می‌شود.

- **طراحی:** اولین گام در طراحی، بازدید میدانی از ساختگاه و در گام‌های بعدی جمع‌آوری داده‌ها با توجه به نوع بهترین تکنیک مدیریتی و نیاز آن از قبیل داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هواشناسی، میزان شیب، خصوصیات خاك، میزان مواد محلول، نوع رسوبات و ... است. سپس با توجه به استانداردهای طراحی و در نظر گرفتن کلیه شرایط، به طراحی کلیه اجزا پرداخته می‌شود.

- واسنجی: واسنجی به منظور کنترل صحت و دقت پارامترها و کلیه تجهیزاتی است که عملکرد آن‌ها بر کیفیت فرآیند، تأثیرگذار می‌باشد. این کار باید در ابتدا و سپس به صورت دوره‌ای انجام شود زیرا عواملی نظیر گذشت زمان، فرسودگی، حوادث غیر قابل پیش‌بینی و ...، سازه مورد نظر را از حالت استاندارد خارج کرده و عملکرد سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- **شبیه‌سازی مدل رواناب:** شبیه‌سازی پدیده بارش – رواناب به منظور بررسی وقوع پدیده و چگونگی آن است. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی از مراحل اساسی و اولیه در مدیریت منابع آب است.

- **معیارهای امکان‌سنجی:** امکان‌سنجی مطالعه‌ای است که از آن طریق احتمال انجام موفقیت‌آمیز تصمیم برآورد می‌شود. درواقع مطالعه امکان‌سنجی برای حصول اطمینان از عملی بودن طرح از لحاظ فنی و اقتصادی و قبل از اجرای طرح، صورت می‌گیرد. معیارهای امکان‌سنجی در انتخاب بهترین تکنیک‌های مدیریتی عبارتند از:

• اثرهای محیطی: باید تأثیرات وارده به محیط و نحوه اجرا و محل بهترین تکنیک‌های مدیریتی تحت مطالعه قرار گیرد.

•سطح زهکشی: برای حداقل و حداکثر میزان سطح زهکشی استانداردها و محدودیت‌هایی با توجه به شرایط منطقه تعریف می‌شود.

• محدودیت‌های توپوگرافی مانند موقعیت تراز آب زیرزمینی، بستر سنگی، شیب‌های بسیار تند.

- **ساخت:** بعد از اتمام تمامی مراحل بالا نوبت به مرحله ساخت سازه می‌رسد که با توجه به طراحی انجام شده، ملاحظات و محدودیت‌های تعریف شده، ساخت سازه انجام می‌گیرد.

- **نگهداری:** نگهداری از هر سازه با توجه به کاربرد آن و بر مبنای ارزیابی‌هایی که انجام می‌شود، برای حفظ عملکرد درست سازه، مانند ثابت نگه‌داشتن ظرفیت ذخیره، ثابت نگهداشتن ظرفیت حذف رسوبات، کنترل میزان حذف آلودگی‌ها و ...، صورت می‌گیرد. این نگهداری بر اساس استانداردها و تعاریف در زمان مقرر به طور مداوم انجام می‌گیرد.

سابقه موضوع در ایران: سابقه پژوهش روش‌های توسعه کم‌اثر در ایران سابقه طولانی نداشته و بسیار جوان می‌باشد. در زیر به مطالعاتی که در دانشگاه‌های مختلف ایران بر روی روش‌های توسعه کم‌اثر و تأثیر آن‌ها بر سیلاب‌های شهری انجام شده است، اشاره می‌شود.

رازدار و همکارن (۱۳۸۹) با بررسی آثار و دلایل وقوع سیلاب‌های شهری، چنین نتیجه‌گیری کردند که تا حد امکان با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح و دقیق باید از میزان سطوح نفوذناپذیر کاست. همچنین بیان کردند که روش دیگر کنترل و مهار سیلاب‌های شهری، هدایت آب روی سقف خانه‌ها به سوی باغچه‌های دارای پوشش گیاهی می‌باشد. کاویانپور و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی حوضه کن استان تهران، چنین بیان کردند که با گذشت زمان و توسعه مناطق

شهری، دبی پیک سیلاب حوضه مورد نظر، ۳ برابر شده است. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که اگر در حوضه مورد نظر از روش‌های توسعه کم‌اثر برای کنترل سیلاب‌ها استفاده شود، میزان افزایش دبی پیک در بیشترین حالت،۱/۵ برابر خواهد شد.روش‌های توسعه کم‌اثر پیشنهادی کاویانپور و همکاران برای کنترل سیلاب‌های حوضه کن، استفاده از باغچه‌ها و مخازن ذخیره باران می‌باشد. رشیدی مهرآبادی (۱۳۹۰) با انجام پژوهشی در زمینه کنترل سیلاب‌های شهری چنین نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از روش‌های غیر سازه‌ای همچون باغچه‌های ذخیره باران و بسترهای نفوذپذیر در پیاده‌روها و خیابان‌ها، علاوه بر کاهش میزان حجم سیلاب‌های شهری می‌توان میزان آلودگی سیلاب‌ها را کاهش داد. کمالی و تجریشی (۱۳۹۰) با انجام مطالعاتی بر روی بسترهای نفوذپذیر، تأثیر این بسترها را در مدیریت سیلاب‌ها بررسی کردند. آن‌ها با توجه به نتایج حاصل از مطالعاتشان چنین نتیجه گرفتند که اگر طرح پیشنهادی برای مناطق خشک، بسترهای نفوذپذیر باشد، بستر باید در ۳ لایه با ضخامت‌های ۵ سانتی‌متر اجرا شود. دانه‌بندی لایه بالایی برابر ۵۰ میلی‌متر، لایه میانی بین ۲/۳۶ تا ۴/۷۵ میلی‌متر و لایه پایین با توجه به جنس خاک منطقه انتخاب می‌شود. توکلی و تجریشی (۱۳۹۰) برا ی حوضه مقصودبیگ واقع در شمال تهران، مطالعات ارزیابی اقتصادی بین ۳ روش جوی باغچه، پشت‌بام سبز و حوضچه ذخیره رواناب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که جوی باغچه اقتصادی‌ترین گزینه برای منطقه مورد بررسی می‌باشد. کمالی و تجریشی (۱۳۹۰) مطالعاتی بر روی تأثیر بسترهای نفوذپذیر بر کیفیت سیلاب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که بسترهای نفوذپذیر رسوبات جامد رواناب را بطور کامل حذف کرده و باعث کاهش ۵۶ درصدی آمونیاک می‌شود. بهرامی و همکارن (۱۳۹۲) نیز تاکیید کردند که استفاده از روش‌های نوین کنترل سیلاب شهری علاوه بر مهار سیلاب‌ها، باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. فلاحی‌زرندی و طاهریون (۱۳۹۲) با انجام مطالعاتی بر روی تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر بر روی کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری نشان دادند که روش‌های جوی باغچه و پشت‌بام سبز اثرات مثبتی بر کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری دارند. آن‌ها بیان کردند که در اجرای روش‌های توسعه کم‌اثر باید شرایط اقتصادی طرح‌ها نیز مورد بررسی قرار بگیرد. لنگری و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر کنترل سیلاب‌های شهری را در شهرستان بجنورد مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که بهترین روش برای شهرستان بجنورد با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه مورد بررسی، روش حوضچه‌های ذخیره سیلاب می‌باشد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۳) با توجه به این موضوع که ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و اکثر بارش‌ها در مدت زمان کم و با شدت بالا رخ می‌دهد، بیان کردند که برای کاهش سیلاب‌های ناشی از این بارش‌ها و همچنین کاهش آلودگی‌های ناشی از آن‌ها و خطرات دیگری که در پی دارند، استفاده از روش‌های نوین کنترل سیلاب شهری از قبیل روش‌های توسعه کم‌اثر اجتناب ناپذیر است. آن‌ها بیان کردند که با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، بهترین روش، استفاده از مخازن ذخیره باران و همچنین پیاده‌روهای متخلخل می‌باشد. حیدری و همکاران (۱۳۹۳) با انجام تحقیقی در بخش مرکزی شهر ورامین، چنین نتیجه‌گیری کردند که زهکش‌های طراحی شده برای جمع‌آوری سیلاب‌های منطقه مورد نظر، دارای ظرفیت کافی برای انتقال آن نمی‌باشند. آن‌ها پیشنهاد کردند که با توجه به روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان از فضای سبز منطقه مورد نظر برای کاهش ظرفیت سیلاب‌های منطقه استفاده کرد. نتایج بررسی آن ها نشان می‌دهد که در منطقه مورد نظر اگر فضای سبز منطقه، جهت کاهش سیلاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد، میزان سیلاب منطقه مورد نظر را به میزان ۳۳٪ کاهش می‌یابد. کاویان‌پور و همکاران (۱۳۹۳) با انجام پژوهشی بر روی حوضه رودخانه قم(قمرود)، سیلاب این حوضه را در دو حالت بدون اجرا شدن روش‌های توسعه کم‌اثر و با اجرا شدن روش‌های توسعه کم‌اثر، توسط مدل SWMM که یک مدل دینامیک برای بارش-رواناب می‌باشد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که در شرایطی که برای حوضه مورد نظر از روش‌های توسعه کم‌اثر استفاده شود، میزان دبی ناشی از طغیان رودخانه و سیلاب‌های ناشی از بارش‌های شدید در حوضه قمرود، با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله، به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. کاویان‌پور و همکارن (۱۳۹۳) در پژوهشی دیگر در حوضه آبریز قم، اثر توسعه شهرنشینی را بر میزان سیلاب‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیان کردند که توسعه شهرنشینی باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و در پی آن موجب افزایش حجم سیلاب و میزان آلودگی در آن می‌شود. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان حجم سیلاب‌ها و میزان آلودگی آن‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش داد. همچنین بیان کردند که استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر نسبت به روش‌های سازه‌ای به مراتب صرفه اقتصادی بیشتری دارد. کبارفرد و فضل‌اولی (۱۳۹۴) با استفاده از مدل EPA-SWMM دو روش پشت‌بام سبز و جوی باغچه را برای منطقه ۲۲ شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که روش پشت‌بام سبز با کاهش ۱۸/۲ درصدی سیلاب نسبت به جوی‌باغچه که کاهش ۹/۷ درصدی دارد، روش مناسب‌تری می‌باشد.

سابقه موضوع در جهان: در حال حاضر بکارگیری روش‌ها و راهکارهای توسعه کم‌اثر و بهترین راهکارهای مدیریتی در مدیریت سیلاب‌های شهری، از جهات مختلف در دنیا مورد پژوهش قرار گرفته است. نمونه‌های زیادی از آن‌ها را می‌توان در بسیاری از کشورهای جهان از جمله انگلیس، فرانسه، آلمان، هلند، ایتالیا، آمریکا، استرالیا، ژاپن، کره‌جنوبی و تایلند یافت. در زیر به قسمتی از این مطالعات اشاره می‌شود.

Ahiablame و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر دو روش مخزن ذخیره باران و پیاده‌رو متخلل را بر میزان سیلاب‌های شهری مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که این دو روش میزان دبی حداکثر سیلاب را کاهش داده و در پی آن خطرات ناشی از سیلاب‌ها کاهش می‌یابد.

Zahmatkesh و همکاران (۲۰۱۴) با کمک دو مدل SWMM و CMIP، دریافتند که روش‌های توسعه کم‌اثر در دوره بازگشت‌های ۲ و ۵۰ سال به ترتیب ۲۸ و ۱۴ درصد، حجم سیلاب‌ها را کاهش می‌دهد. Rosa و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل SWMM تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر انتقال آلودگی سیلاب‌ها بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که روش‌های توسعه کم‌اثر باعث کاهش انتقال آلودگی می‌شود. Martin-Mikle و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر را بر انتقال آلودگی و رسوبات مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی‌ها چنین بین کردند که اجرای روش‌های توسعه کم‌اثر موجب کاهش ۱۶ درصدی در انتقال آلودگی و کاهش ۱۷ درصدی در انتقال رسوبات می‌شود. Khin و همکاران (۲۰۱۶) با انجام مطالعاتی بر روی پیاده‌روهای متخلخل دریافتند که این روش توسعه کم‌اثر میزان حجم سیلاب شهری را ۱۸/۲ تا ۳۷/۱ درصد کاهش می‌دهد. Li و همکاران (۲۰۱۵) نیز با انجام پژوهشی چنین نتیجه گرفتند که با استفاده از روش‌های باغچه‌های زیستی و پیاده‌روهای متخلخل میزان حجم سیلاب و همچنین آلودگی‌های نقطه‌ای کاهش پیدا می‌کند. Palanisamy و Chui (۲۰۱۵) با انجام پژوهشی چنین نتیجه‌گیری کردند که با استفاده از کانال با پوشش گیاهی، دبی حداکثر سیلاب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. Bhaskar و همکاران (۲۰۱۶) با انجام پژوهشی بر روی یک حوضه خاص طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، دریافتند که استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر علاوه بر کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌ها، باعث بهبود وضعیت آب‌های زیرزمینی نیز می‌شود. Ahiablame و Shakya (۲۰۱۶) در بررسی ۳ روش توسعه کم‌اثر منبع ذخیره باران، پیاده‌رو متخلخل و باغچه ذخیره باران چنین نتیجه گرفتند که میزان حجم سیلاب بین ۳ تا ۴۷ درصد کاهش پیدا می‌کند.

جمع‌بندی و پیشنهادات

توسعه روزافزون شهرها و افزایش سطوح نفوذناپذیر، ساختار طبیعی حوضه آبریز را دچار تغییرات شدید نموده که منجر به کاهش پتانسیل ذخیره طبیعی آب (نفوذ آب در خاک و ذخیره چالاب) در حوضه و در نتیجه موجب افزایش رواناب در حوضه می‌شود. در روش‌های توسعه کم‌اثر جهت مدیریت سیلاب شهری، برای حفظ یا بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوضه آبریز و بهبود شرایط زیست‌محیطی که در آن است، با استفاده از خصوصیات و عوارض طبیعی و مصنوعی واقع در سطح حوضه، اقداماتی در جهت کاهش حجم و دبی اوج رواناب، تصفیه یا کاهش آلودگی رواناب و همچنین افزایش نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی انجام می‌شود. برخی از این اقدامات به نام بهترین راهکارهای مدیریت رواناب، به عنوان ابزاری مناسب برای مدیریت سیلاب‌های شهری معرفی شدند. این اقدامات گاهی بصورت سازه‌ای و گاهی بصورت غیرسازه‌ای می‌باشند. همچنین باید یادآور شد که استفاده هر یک از راهکارهای مدیریتی ارائه شده، در شهر با توجه به هدف و ویژگی‌های هر شهر متنوع بوده و درجه کارایی آن‌ها متفاوت می‌باشد که می‌بایست با توجه به شرایط، بومی‌سازی شود. برای بکارگیری این روش می‌توان دو گونه برخورد کرد.

- بکارگیری این تکنیک‌ها در شهر در وضعیت موجود برای بهسازی
- بکارگیری این تکنیک‌ها در طراحی شهری از مرحله نخست در مقیاس کلان و خرد

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در سال ۲۰۰۹، دستورالعملی برای استفاده از بهترین تکنیک‌های مدیریت سیلاب، ارائه داده است. در این دستورالعمل طبقه‌بندی کلی مدیریت سیلاب با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر، بر اساس نوع اقلیم مناطق مختلف ذکر شده است. با توجه به این‌که دستورالعملی مبنی بر انتخاب روش‌های توسعه کم‌اثر در مناطق مختلف ایران تاکنون ارائه نشده است، براساس بیشترین تشابه اقلیمی بین اقلیم‌های مختلف ایران و آمریکا، جدول زیر برای بکارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر در ایران پیشنهاد می‌گردد. لازم به ذکر است که بکارگیری هر یک از این روش‌ها در ایران مستلزم مطالعات دقیق‌تر و بومی‌سازی این روش‌ها بر اساس منطقه مورد استفاده می‌باشد.

با توجه به این‌که در حال حاضر، این تکنیک‌ها در ایران به دلایل مختلف، تاکنون اجرا نشده است، و در عین حال با توجه به شاهد بودن مشکلات جدی در مسئله مدیریت روانآب‌ها در کلان شهرها، پیشنهاد می‌شوداین تکنیک‌ها بیشتر مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته و روش‌های بومی‌سازی بررسی شوند و با استفاده از این روش‌ها از منابع آبی کشور حفاظت شود.

جدول ۲- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب پیشنهادی برای ایران

منطقه	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها
مناطق شمالی ایران	آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران	پیاده‌رو متخلخل
مناطق غربی ایران	آبراهه با پوشش گیاهی	بام سبز	حوضچه نگهداشت مرطوب
مناطق جنوبی ایران	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک
مناطق شرقی ایران	آبراهه زیستی	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک
مناطق مرکزی ایران	آبراهه زیستی- باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک

پی‌نوشت

1- Hydrograph
2- Low Impact Development(LID)
3- Bioswales
4-Rain Gardens
5- Trenches
6- Green Roof
7- Rain Barrels
8- Rain Chains

منابع

بهرامی، ج.، حسینی، ا.، رفیعی، د. ۱۳۹۲. مدیریت سیلاب شهری به کمک روش‌های نوین. اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی عمران شهری. کردستان. ایران.

توکلی، س.، تجریشی، م. ۱۳۹۰. بهبود کیفیت رواناب شهری با استفاده از بهترین راه‌کارهای مدیریتی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی در تهران. کنفرانس ملی توسعه پایدار و عمران شهری. اصفهان. ایران.

حیدری، ه.، کاویانپور اصفهانی، م. ر.، پورحسن‌زارع، م. ع. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد تبدیل فضاهای سبز شهری به واحدهای زیست‌ماند به عنوان رویکردی نوین در کاهش تأثیرات سیلاب شهری. دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب. تهران. ایران.

رازدار، ب.، قویدل، آ.، ذوقی، م. ج.، پیروز، ب. ۱۳۸۹. آثار و دلایل وقوع سیلاب‌های شهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران. ایران.

رشیدی‌مهرآبادی، م. ح. ۱۳۹۰. ارائه و بررسی روش‌های سطوح آبگیر در کنترل سیلاب شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران. ایران.

سلطانی، ک.، سلیمانی، ح. و رمضانی‌پور دستجردی، ف. ۱۳۹۳. روش‌های نوین معماری و شهرسازی در توسعه کم‌اثر. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. تهران. ایران.

فلاحی‌زرندی، ا.، طاهریون، م. ۱۳۹۲. بررسی کاربرد بهینه بهترین راهکارهای مدیریتی در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب. تهران. ایران.

کاویانپور، م. ر.، بهزادی‌پور، ا.، آقازاده‌ابری، ع. ا.، مقیمی، ا. ۱۳۹۳. توسعه شهرنشینی و کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر- مطالعه موردی قمرود. نهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی. مشهد. ایران.

کاویان‌پور، م. ر.،مقیمی، ا.، شریفی، س. ۱۳۸۹. تعیین اثرات کاربرد روش توسعه کم‌اثر در کاهش سیلاب‌های شهری و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران. ایران.

کبارفرد، م.، فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۴. مدل‌سازی کمی و کیفی سیلاب شهری با مدل EPA-SWMM مطالعه موردی بخشی از منطقه ۲۲ تهران. تهران. ایران.

کمالی، م.، تجریشی، م. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در حذف آلاینده از رواناب شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران. ایران.

کمالی، م.، تجریشی، م. ۱۳۹۰. بکارگیری روسازی نفوذپذیر در مدیریت رواناب شهری. کنفرانس ملی توسعه پایدار و عمران شهری. اصفهان. ایران.

لنگری، م.، کاویانپور، م. ر.، بهرامی، ج.، کلایی، ح. ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر رواناب شهری-مطالعه موردی شهرستان بجنورد. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. تهران. ایران.

Ahiablame L. and Shakya R. 2016. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. Journal of environmental management, 171: 81-91.

Ahiablame L.M., Engel B.A. and Chaubey, I. 2013. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. Journal of environmental management, 119: 151-161.

Bhaskar A.S., Hogan D.M. and Archfield S.A., 2016. Urban base flow with low impact development. Hydrological Processes, 30(18): 3156-3171.

Chow V.T., Maidment D.R. and Mays L.W. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.

Khin M.M.L., Shaker A., Joksimovic D. and Yan W.Y. 2016. The use of WorldView-2 satellite imagery to model urban drainage system with low impact development (LID) Techniques. Geocarto International, 31(1): 92-108.

Li T., Shan S., Liu J., She N., Chen B. and Wu L. 2015. Applying New Features of Low-Impact Development Techniques in the Master Planning of Guangzhou Educational Town. International Low Impact Development Conference 2015, January 19-21, Houston, Texas.

Martin-Mikle C.J., de Beurs K.M., Julian J.P. and Mayer P.M. 2015. Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. Landscape and Urban Planning, 140: 29-41.

Palanisamy B. and Chui T.F.M. 2015. Rehabilitation of concrete canals in urban catchments using low impact development techniques. Journal of Hydrology, 523: 309-319.

Rosa, D.J., Clausen, J.C. and Dietz, M.E., 2015. Calibration and verification of SWMM for low impact development. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 51(3), pp.746-757.

Zahmatkesh Z., Burian S.J., Karamouz M., Tavakol-Davani H. and Goharian E. 2014. Low-impact development practices to mitigate climate change effects on urban stormwater runoff: Case study of New York City.Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(1): 04014043.