مروری بر مدیریت غیرمتمرکز رواناب شهری با تاکید بر کاهش میزان بار آلودگی رواناب شهری در محل

فرخنده خراشادی زاده[1*]، محدثه شفیعی[2]، علی اسدی[3]، لیلا مصلح[4]، محمدرضا جبه داری[5]، علیرضا مقدم نیا[6]

۱- استادیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۳- کارشناسی ارشد، گروه علوم مهندسی آب،دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۴- استادیار، گروه مدیریت شهری-مهندسی شهرسازی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۵- پسا دکتری، مهندسی سیستم، دانشگاه ایالتی مورگان، ایالت متحده آمریکا
۶- استاد، گروه آموزشی علوم و فناوری های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری های میان رشته ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسندگان:
۱- khorashadi@sharif.edu
۲- shafiei_mohadeseh۷۹@civileng.iust.ac.ir
۳- al.asadi@srbiau.ac.ir
۴- leilamosleh@ut.ac.ir
۵- mojab۱@morgan.edu
۶- a.moghaddamnia@ut.ac.ir

چکیده:

پیامد توسعه شهری، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و در نتیجه افزایش حجم رواناب سطحی می‌باشد. علاوه بر این، توسعه شهری چرخه طبیعی آب را مختل می‌کند و مشکلاتی نظیر سیلاب، تنزل کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی را به دنبال دارد. بطور معمول، مدیریت رواناب شهری به صورت متمرکز و بر مبنای ایجاد تمهیدات سازه‌ای می‌باشد. به منظور کاهش اثرات منفی شهرنشینی، رویکردهای نوین و غیرمتمرکز معرفی شده‌اند تا با بازسازی شرایط هیدرولوژیک قبل از توسعه، حجم و بار آلودگی رواناب شهری را کاهش دهند. این رویکردها تحت عناوین مختلف، نظیر توسعه کم‌اثر، زیرساخت سبز و طراحی شهری حساس به آب، در مناطق مختلف دنیا اجرا شده‌اند. هدف این پژوهش، بررسی رویکردهای نوین مدیریت غیرمتمرکز رواناب شهری و مقایسه کارآمدی آن‌ها در کنترل رواناب آلوده در محل می باشد. با مرور تجربیات کشورهای پیش‌رو شرایط بهینه اجرای هرکدام از رویکردها بررسی می‌شود. برنامه‌ریزان مدیریت شهری می‌توانند از نتایج این پژوهش در جهت بکارگیری این رویکردها بهره‌برداری نمایند.

واژگان کلیدی: مدیریت غیرمتمرکز، رواناب شهری، روش‌های توسعه کم‌اثر، کنترل رواناب آلوده در محل

---

*فرخنده خراشادیزاده، استادیار، گروه مهندسی آب و محیطزیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف
ایمیل: khorashadi@sharif.edu (نویسنده مسئول مقاله)

Decentralized Urban Runoff Management with Emphasis upon On-site Runoff Pollution Reduction: A Systematic Review

F. Khorashadi Zadeh [1*], M. Shafiei [2], A. Asadi [3], L. Mosleh[4], M. Jabedari[5], A. Moghaddam Nia[6]

۱. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
۲. Bachelor's student, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
۳. Master's graduate, Department of Water Engineering Sciences, Faculty of Agriculture, University of Sciences and Research, Tehran, Iran.
۴. Assistant Professor, Department of Urban Management and Urban Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
۵. Postdoctoral Researcher, Systems Engineering, Morgan State University, United States.
۶. Professor, Department of Environmental Sciences and Technologies, Faculty of Energy and Sustainable Resources Engineering, Faculty of Interdisciplinary Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract:

Urban development has resulted in an increase in impermeable surfaces, and consequently volume and peak discharge of surface runoff. In Addition, it perturbs the natural water cycle, including reduced pervious surfaces and increased surface runoff volume. Urban development dengenders multifaceted issues, encompassing urban flood, degradation of surface water and groundwater quality, and drop of groundwater levels. Conventional urban runoff management has usually adhered to a centralized approch, relying upon the construction of structural elements such as concrete channels to divert runoff. In recent decades, in order to diminish the deleterious impacts of urbanization, modern and decentralized methodologies have been introduced to mitigate the peak flow, volume, and pollution load of urban runoff by restoring the natural hydrological conditions before the urban development. In different contries around the world, these strategies have been introduced and implemented by different terminologies, such as low-impact development, green infrastructure, sustainable urban drainage systems, water-sensitive urban design and sponge cities. This research seeks to study the pioneering decentralized approaches of urban runoff management, introducing their benefits and compare their efficacy in controlling contaminated runoff. Moreover, the challenges and the limitations of each approache are discussed. By investigating the experiences of pioneering countries and sucseeful projects, the feasibility of deploying these strategies and also the optimal conditions for the implementation of each approach in the metropolises of Iran are precisely assessed. Decision-makers and urban planners can benefit from this research, in order to apply these approaches in Iranian cities, notably the expansive metropolis of Tehran. Reviewing the existing global and national experiences in this field shows that, in general, none of the Best Management Practices (BMPs) and Low Impact Developments (LIDs) techniques can alone meet all the goals of runoff management. Examining different scenarios of combining low-impact development methods using modeling is necessary to choose the most effective and economical scenario according to the characteristics of the study area. SWMM and SUSTAIN are among the widely used modeling tools in this field. Finally, the use of various decentralized techniques in each region should be based on observing all the technical principles and criteria related to their design, implementation, maintenance and exploitation. In this context, reviewing the guidelines of different regions of the world can be helpful, but local studies should be done to evaluate the effectiveness of the discussed approaches, especially in terms of reducing the types of pollutants present in the runoff entering the facility.

Keywords: Decentralized management, urban runoff, low-impact development methods, on-site control of polluted runoff

۱ ـ مقدمه

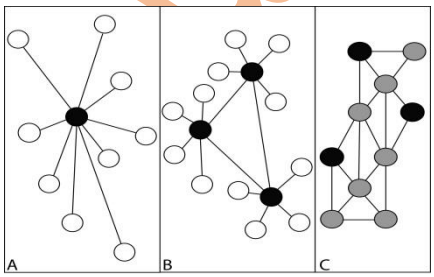
پیامد افزایش تراکم جمعیت در شهرها و توسعه شهری، افزایش اجتناب‌ناپذیر سطوح غیرقابل نفوذ است که منجر به تغییر چرخه طبیعی هیدرولوژیکی، ازجمله کاهش نفوذ طبیعی و افزایش رواناب سطحی، می‌شود. رواناب شهری آلاینده‌های حاصل از سطوح شهری را به حوضه‌های آبخیز مجاور حمل می‌کند که باعث تنزل کیفیت آب شده و اثرات نامطلوبی بر پیکره‌های آبی دریافت‌کننده می‌گذارد. رواناب شهری در ورود و جابه‌جایی طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های موجود در آبراهه‌ها نقش دارد. از جمله‌ی این آلاینده‌ها می‌توان به رسوبات، آفت‌کش‌ها و مواد مغذی محوطه‌های چمنی پارک‌ها و باغ‌ها، ویروس‌ها، باکتری‌ها، فلزات سنگین و مواد مغذی ناشی از فضولات حیوانات خانگی و سیستم‌های فاضلاب معیوب اشاره کرد [۱].

به منظور دستیابی به توسعه شهری پایدار و ایجاد تعادل در نیازهای محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی، در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، روی‌آوردن به دیدگاه مدیریت یکپارچه منابع آب شهری ضروری می‌باشد. در این دیدگاه، تمام قسمت‌های چرخه آب، شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی، محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت، همگی تحت عنوان یک سیستم یکپارچه درنظر گرفته می‌شوند. مدیریت یکپارچه رواناب سطحی از سه جهت مورد اهمیت است: کنترل سیلاب، کنترل آلودگی منابع آبی و جلوگیری از هدر رفت آب و امکان استفاده مجدد از آن.

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب، موجب هدر رفت آب‌های سطحی می‌شود. ازاین‌رو، مهار رواناب‌های سطحی و بهره‌برداری مناسب از آنها می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفت آب و تبدیل تهدید به فرصت باشد. با مدیریت یکپارچه رواناب سطحی شهری می‌توان، علاوه بر کنترل سیلاب، آلودگی منابع آبی را کاهش داد و همچنین، امکان استفاده مجدد از رواناب برای مصارف دیگر را نیز فراهم کرد.

روش‌های متعددی برای کاهش میزان آلودگی رواناب شهری وجود دارد. اقدامات مدیریتی برای پیشگیری و یا کاهش آلودگی رواناب شهری می‌تواند به‌سادگی تعیین مقدار مناسب کود برای باغچه یک خانه و یا به پیچیدگی احداث یک سازه مهندسی، همچون تالاب سیلاب‌گیر[۱]، باشد. به‌کارگیری روش‌هایی که توسعه شهری را با کمترین خسارات محیطی به پیش ببرند، از مهم‌ترین مسئولیت‌های مدیران شهری است. مزایای استفاده از این روش‌ها عبارتند از ۱) عدم نیاز به وجود فضای خالی برای ساختن مخازن بزرگ در محیط متراکم شهری، ۲) کاهش بار آلودگی و بهبود کیفیت رواناب قبل از رسیدن به منابع آب، ۳) جلوگیری از تخریب محیط‌زیستی در مناطق مسکونی و تجاری، ۴) بازگردانی حوضه آبخیز به رژیم هیدرولوژیکی قبل از توسعه، به واسطه نفوذ، تصفیه، ذخیره، تبخیر و نگهداشت رواناب در نزدیک ترین محل به منبع تولید آن، ۵) کاهش حجم جریان و دبی اوج [۲] و [۳].

الگوی جمع‌آوری رواناب سطحی می‌تواند به‌صورت متمرکز یا غیرمتمرکز باشد (شکل ۱). در الگوی متمرکز (شکل ۱-*A*)، فاضلاب از چندین منطقه پراکنده و مختلف به یک تصفیه خانه مرکزی منتقل می‌گردد. در الگوی غیرمتمرکز (شکل ۱-*B*) فاضلاب در نزدیکترین مکان به محل تولید یا به محل بالقوه مصرف، تصفیه و مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. لذا، در این نوع الگو برای تصفیه فاضلاب کل شهر ممکن است چند تصفیه خانه محلی مورد نیاز باشد. در الگوی ترکیبی (شکل ۱-*C*) فاضلاب در همان مکان تولید، تصفیه و مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد و در شرایط حجم مازاد بر ظرفیت تصفیه محلی (مانند سیلاب)، به شبکه اصلی برگردانده می‌شود [۴].



شکل ۱- انواع الگوهای جمع آوری رواناب سطحی شامل A) متمرکز، B) غیرمتمرکز، و C) ترکیبی. دایره‌های سیاه: تولید کننده منفرد، دایره‌های سفید: مصرف‌کننده‌ها، دایره‌های خاکستری: مصرف‌کننده‌های مشارکتی [۴] .

[۱] Storm Water Wetland

از طرفی، روش‌های غیرمتمرکز مدیریت آلودگی رواناب‌های سطحی را می‌توان به دو دسته روش‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم نمود. رویکردهای غیر سازه‌ای، رویکردهای سازمانی و پیشگیری از آلودگی هستند که برای جلوگیری یا کاهش آلاینده‌های ورودی به رواناب و یا کاهش حجم رواناب طراحی شده‌اند. این رویکردها، شامل تسهیلات ثابت دائم نمی‌شوند و معمولاً با تغییر رفتار از طریق مقررات دولتی (برای مثال قوانین برنامه‌ریزی و محیط‌زیستی)، متقاعدسازی و یا ابزارهای اقتصادی کار می‌کنند. تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای اقدامات غیرسازه‌ای (در واقع بازدارنده) انجام شده است [۵]. بنیاد تحقیقات آب و محیط‌زیست نیوزلند این اقدامات را در سه دسته کلی جای داده است: ۱) برنامه‌ریزی/مقررات (شامل کنترل‌های تخلیه، کنترل‌های مواد خطرناک، کنترل‌های طراحی شهری (*WSUD*، *LID*)، عوارض/مشوق‌ها)، ۲) آموزش/توسعه (شامل تشویق جلوگیری از آلودگی، ترویج مشارکت در فعالیت‌های کنترل رواناب شهری و ۳) کنترل منشا (شامل نظافت منطقه) [۶]. روش‌های غیرسازه‌ای ساده می‌توانند نیاز به ساخت کنترل‌کننده‌های رواناب بزرگ، مانند حوضچه‌های نگهداشت دائمی و سیستم‌های انتقال رواناب، را کاهش داده و بدین‌وسیله هزینه‌های زیرساخت کل پروژه را کاهش دهند.

در مقابل، روش‌های سازه‌ای به جداسازی آلودگی از رواناب می‌پردازند که طیف وسیعی از روش‌های توسعه کم‌اثر[۲]، به‌کارگیری پکیج‌های تصفیه و احداث تصفیه‌خانه‌های محلی را در برمی‌گیرند. سرمایه‌گذاری برای محافظت از کیفیت آب، که در جوامع مختلف در سراسر دنیا درحال انجام است، از طریق روش‌های توسعه کم‌اثر بیشترین سود را دربر دارد، زیرا در این رویکردها، با حفظ و احیای مناطق طبیعی، مدیریت آب باران و کاهش رواناب حاصل می‌گردد. از طرفی، زیرساخت‌های سبز (*GI*)[۳]، زیرمجموعه ای از روش‌های توسعه کم‌اثر، نه‌تنها می‌توانند با مدیریت بهتر رواناب به بهبود کیفیت آب کمک کنند، بلکه گاهی اوقات با هزینه کمتری نسبت به روش های رایج می‌توانند باعث ایجاد فرصت‌هایی، نظیر توسعه مجدد، فراهم کردن فرصت‌های تفریحی و کمک به دستیابی به سایر اهداف اجتماعی، اقتصادی، بهداشتی و محیط زیستی، شوند.

در این پژوهش، ابتدا روش‌های غیرمتمرکز سازه‌ای مدیریت رواناب شهری و مزایای آن‌ها معرفی شده، سپس تجارب جهانی و ملی در زمینه استفاده از این روش‌ها در مدیریت رواناب شهری ارائه می‌گردد. در انتها، روش‌های مختلف ارزیابی رویکردهای توسعه کم‌اثر، از جمله شبیه‌سازی کمی و کیفی رواناب شهری، مرور می‌شود.

۲- معرفی رویکردهای غیرمتمرکز مدیریت رولناب شهری

سامانه‌های متعارف مدیریت رواناب شهری که به عنوان سامانه‌های متمرکز شناخته شده هستند، مبتنی بر فلسفه‌ای برای ایجاد تمهیداتی هستند که رواناب‌ها را با سرعت، در حد امکان، از مناطق شهری دور کنند و در نقطه‌ای پایین‌دست، حجم بالای رواناب جمع‌آوری شده را مدیریت و به آب‌های پذیرنده تخلیه کنند. این تمهیدات اغلب با استفاده از سازه‌های انتقال بتنی که خود غیرقابل نفوذ هستند، بوده و منجر به افزایش آلودگی و مواد جامد معلق می‌شود، که می‌تواند از آستانه تحمل آب‌های سطحی پذیرنده فراتر رود.

در دهه‌های اخیر، اجرای راه‌حل‌های طبیعی‌تر از نظر محیط‌زیستی و حساس‌تر به آب، ، شتاب قابل‌توجهی پیداکرده است. رویکردهای جدیدی، در قالب راهکارهای غیرمتمرکز، برای کاهش اثرات منفی شهرنشینی بر کیفیت و کمیت رواناب، معرفی‌شده‌اند. با کاهش حجم رواناب و سیلاب، رویکردهای غیرمتمرکز می‌توانند نقش اساسی در کاهش اثرات منفی شهرنشینی بر هیدرولوژی و کیفیت آب داشته باشند. در کشورهای مختلف، راهکارهای غیرمتمرکز عناوین مختلفی دارند: مدیریت یکپارچه منابع آب شهری[۴] (*IUWM*) ، سامانه زهکشی پایدار شهری[۵] (*SUDS*)، کنترل در منشاء[۶]، بهترین شیوه‌های

[۲] Low Impact Development
[۳] Green Infrastructure
[۴] Integrated Urban Water Management
[۵] Sustainable Drainage System
[۶] Source Control

مدیریت[۷] (*BMP*)، توسعه کم‌اثر[۸] (*LID*) ، طراحی شهری حساس به آب[۹] (*WSUD*) و مدیریت نوآورانه رواناب شهری[۱۰] [۷]. این رویکردها به سبب نگرانی‌های حاصل از پایداری در مناطق شهری به وجود آمده‌اند، که شامل کاهش سطوح غیرقابل نفوذ، نگهداشت رواناب در محل، افزایش نفوذ و تبخیر-تعرق سیلاب و بازسازی شرایط هیدرولوژیک قبل از توسعه می‌شود. این اقدامات می‌توانند شرایط رواناب را به قبل از توسعه شهری، یا حتی بهتر، تبدیل نمایند [۸].

اقدامات زیرساخت سبز از جمله راه‌حل‌های توسعه پایدار شهری یا توسعه مجدد می باشند که مبتنی بر فلسفه مدیریت سیلاب در محل است. این اقدامات نفوذ و ذخیره‌سازی را افزایش می‌دهد، زمان اوج رواناب را به تأخیر می‌اندازد، حجم رواناب را کاهش می‌دهد و حرکت آلاینده‌ها را کنترل می‌کند. عنوان بهترین شیوه های مدیریت (*BMP*) را معمولاً برای اقدامات رویکردهای غیرمتمرکز در مقیاس بزرگ به‌کار می‌برند، در حالی‌که در مقیاس کوچک، از عنوان توسعه کم‌اثر (*LID*) استفاده می‌شود.

۳- اقدامات توسعه کم‌اثر (LID)

توسعه کم‌اثر، یک روش برنامه‌ریزی و طراحی مهندسی برای مدیریت رولناب شهری، با هدف تقلید رژیم هیدرولوژیکی پیش از توسعه، است. اگرچه بهترین شیوه‌های مدیریت رواناب، با مقیاس بزرگ، در ذخیره حجم بالایی از رواناب و بهبود کیفیت کلی حوضه‌های آبخیز شهری موثر هستند، اما معمولا یافتن فضای خالی برای ساختن آن‌ها در محیط متراکم شهری دشوار است. بعلاوه، این چنین عملیاتی بیش از کنترل، نقش بهبود کیفیت رولناب را قبل از رسیدن به منابع آب پذیرنده انجام می‌دهند. بنابراین، ایده اقدامات توسعه کم‌اثر اغلب رویکرد مناسب‌تری برای مدیریت رواناب و کنترل آلودگی در حوضه‌های آبخیز شهری است [۳]. توسعه کم‌اثر بر حفاظت از ویژگی‌های طبیعی و استفاده از کنترل‌کننده‌های هیدرولوژیکی مهندسی شده کوچک مقیاس، برای نفوذ، فیلتر، ذخیره، تبخیر و نگهداشت رولناب در نزدیکی منشا آن، تأکید می‌کند راهبرد اساسی به کارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر، کاهش تخریب‌های محیطزیستی در مناطق مسکونی و تجاری است. به عبارت دیگر، هدف کلی استفاده از اقدامات توسعه کماثر، تقلید نمودن یا تلاش برای بازسازی مصنوعی هیدرولوژی منطقه به شرایطی است که هنوز توسعه نیافته بود و حجم رواناب متاثر از توسعه شهری نشده بود. اقدامات توسعه کم‌اثر روش نسبتا جدیدی در مدیریت سیلاب شهری است و عمدتا، در مناطق تازه تاسیس شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اقدامات می‌توانند باعث میرایی آلودگی، کاهش حجم جریان و کاهش دبی اوج شوند [۳-۲].

به منظور استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر، شرایط مختلفی، از جمله ۱) شرایط اقلیمی، ۲) سامانه شهری و شهرسازی، تراکم جمعیت و تراکم ساخت و سازها، ۳) میزان پذیرش اجتماعی و فرهنگی طرحها از سوی مردم، دولت و دستگاه قانونگذار، ۴) هزینه ها و پارامترهای اقتصادی، ۵) قوانین و استانداردهای موجود در زمینه تامین و مصرف آب و ۶) امکان ترکیب تکنیک‌های منتخب پیشنهادی، باید در نظر گرفته شوند [۹].

۳-۱- انواع روش‌های توسعه کم‌اثر

از جمله روش‌هایی که در راهبرد توسعه کم‌اثر گنجانده می‌شوند عبارتند از: ۱) باغچه‌های بارانزاد (حوضچه‌های زیستی)، ۲) سقف‌های با پوشش گیاهی (بام سبز)، ۳) ذخیره‌سازی در کنار پیاده‌روها، ۴) گودال‌ها، حائل‌ها و نوارهای با پوشش گیاهی، ۵) قطع ارتباط هدایت‌کننده‌های رواناب پشت‌بام[۱۱]، ۸) قطع ارتباط سطوح نفوذناپذیر[۱۲]، ۹) مخازن ذخیره موقت و یا دائمی رواناب، ۱۰) ترانشه‌های نفوذ [۲]. هدف اصلی این رویکردهای غیرمتمرکز کاهش حجم رولناب از سطوح غیرقابل نفوذ[۱۳] و همچنین، کاهش میزان آلودگی وارده بر آب های پذیرنده می‌باشد [۱۰].

در ادامه برخی از روش‌های توسعه کم‌اثر معرفی می‌گردد.

۳-۱-۱- سامانه‌های مهار و ذخیره آب باران

یکی از موثرترین راه‌های کنترل رواناب در منشا، ذخیره‌سازی آب باران با استفاده از مخازن یا بشکه‌های کوچک آب (شکل۲)، به

---

[۷] Best Management Practices
[۸] Low Impact Development
[۹] Water Sensitive Design
[۱۰] Innovative Stormwater Management
[۱۱] Roof Leader Disconnection
[۱۲] Impervious Surface Reduction and Disconnection
[۱۳] Impervious surface

منظور آبیاری فضای سبز خانگی، می‌باشد. این سامانه‌ها قرن‌هاست که برای تأمین نیازهای ذخیره آب شهری [۱۱] استفاده شده‌اند و در حال حاضر، رویکرد معمول در هند، آفریقا، آمریکا، آسیا، استرالیا و بسیاری از مناطق دیگر برای تأمین نیاز ذخیره آب است و مقبولیت اجتماعی قابل توجه دارد (برای مثال [۱۲]). این رویکرد، در شهرهای ژاپن و آلمان معمولا برای کنترل سیل، مدیریت آلودگی رواناب و دیگر نیازها استفاده می‌شود [۱۳-۱۵]. به‌علاوه، این رویکرد یک اقدام موثر برای سازگاری با اثرات تغییرات آب و هوایی درنظر گرفته می‌شود.

شکل ۲- سامانه مهار و ذخیره آب باران [۱۶]

از مزایای این سامانه می‌توان به این موارد اشاره کرد: ۱) جمع‌آوری و ذخیره رواناب بام ساختمان‌ها، ۲) استفاده از آب باران برای مصارفی همچون آبیاری فضای سبز و باغچه‌ها در محل بارش، ۳) کاهش حجم رواناب ورودی به شبکه جمع آوری رواناب از طریق انفصال هیدرولیکی پشت بام از شبکه آب های سطحی ، ۴) نصب و راه‌اندازی آسان، ۵) قیمت ارزان [۱۷-۱۸].

با وجود ویژگی‌های ذکر شده، این سامانه معایبی نیز دارد، از جمله ۱) خطر بالا گرفتگی در گلوگاه، ۲) بهبود ناچیز کیفیت آب، ۳) عدم تضمین عملکرد صحیح آن به‌دلیل قرارگیری مالک دستگاه به عنوان اپراتور، ۴) نیازمند به وجود فضای مناسب جهت استقرار منبع ذخیره، ۵) کارایی مناسب برای مناطقی که بیش از ۴ ماه در سال بارندگی دارد [۱۷-۱۸].

تحقیقات مختلفی در نقاط مختلف جهان در زمینه اثر بخشی سیستم‌های مهار و ذخیره آب انجام شده است. برای مثال، بررسی مزایای سیستم‌های ذخیره آب باران در شهرهای ایالات متحده، توسط Steffen و همکاران [۱۹]، نشان داد عملکرد مخازن باران تابعی از اندازه مخزن و الگوی آب و هوا می‌باشد. یک بشکه باران منفرد (۵۰ گالن) نصب شده در یک قطعه مسکونی قادر به ایجاد تقریباً ۵۰ درصد اثربخشی ذخیره آب برای نیاز آب غیر آشامیدنی در شهرهای ساحل شرقی، جنوب‌شرقی، غربی مرکزی و شمال غربی اقیانوس آرام می‌باشد. نتایج آن‌ها همچنین نشان می‌دهد که برداشت آب باران می‌تواند حجم رواناب رگبار را تا ۲۰٪ در نواحی نیمه خشک کاهش دهد. Lyu [۲۰] نیز اثربخشی بشکه‌های باران را بر کاهش دبی اوج در یک حوضه آبخیز نیمه شهری بررسی کرد و نتایج او نشان داد برای یک طوفان با دوره بازگشت کمتر از ۳ سال، با جمع‌کردن همه حجم بارش دریافتی سقف‌ها، بشکه‌های باران برای کنترل سیل کافی هستند.

۳-۱-۲- چاهک‌های جذبی

چاهک‌های جذبی یا چاهک‌های نفوذ آب باران (شکل۳)، مخازن کوچک مکعبی یا استوانه‌ای هستند که پس از حفاری درون آن‌ها به وسیله سنگ لاشه پر می‌شود و دیواره آن‌ها با یک تیغه یا غلاف از جنس آجر، بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی و یا حلقه‌های پلی‌اتیلن مشبک پوشانده شده و اطراف و درون آن با مواد درشت دانه پر می‌شود [۱۷].

شکل ۳- چاهک‌های نفوذ آب باران [۳۰]

از مزایای این سامانه می‌توان به ۱) تسهیل نفوذ آب به داخل خاک، ۲) کاهش حجم و ایجاد تأخیر در حرکت رواناب، ۳) کمک به تغذیه آب‌های زیرزمینی و تأمین بخشی از نیاز طبیعی آبخوان، ۴) تصفیه طبیعی رواناب، ۵) کاهش شوری آب زیرزمینی و پس زدن اولیه آب شور در مناطق نزدیک به دریا، ۶) کمک به بهبود

محیط‌زیست با کاهش میزان رواناب سطحی آلوده، ۸) هزینه نسبتاً کم اجرایی و ۹) سهولت اجرا (البته بسته به شرایط منطقه و جنس خاک)، اشاره کرد [۱۷-۱۸].

با وجود ویژگی‌های ذکر شده، این سامانه در خاک‌های با قابلیت زهکش پایین پایداری پی سازه‌های اطراف را تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه براین، درصورتی‌که رواناب دارای آلودگی‌های شیمیایی و صنعتی باشد، به علت آلوده شدن آبخوان، مناسب نیست و توصیه نمی‌شود. همچنین، به منظور جلوگیری از گرفتگی، این سامانه نیاز به پایش و نگهداری دارد و کارایی آن در کاهش آلاینده ذرات معلق و فلزات سنگین، متوسط ارزیابی شده است [۱۷-۱۸].

۳-۱-۳- روکش‌های نفوذپذیر

روکش‌های نفوذپذیر یا متخلخل (شکل۴) انواع خاصی از سطوح هستند، که با تشکیل یک سامانه نفوذ، به رواناب اجازه عبور داده و برخی از آلاینده‌های موجود در رواناب را پالایش می‌کنند. این روش، قابل پیاده‌سازی برای روکش سطح پیاده‌روها، پارکینگ‌ها و سطح خیابان‌ها می‌باشد. [۱۷].

شکل ۴- روکش‌های نفوذپذیر[۲۱]

باتوجه به اینکه روسازی‌های نفوذپذیر در معرض نفوذ رواناب به هنگام وقوع بارش قرار می‌گیرند، لازم است تمهیداتی مطابق شرایط زیر رعایت گردد [۱۷-۱۸]:

۱. در معابر که بار ترافیکی نسبتا پایینی دارند، مورد استفاده قرار گیرد (برای مثال، پیاده‌روها، کوچه‌های با ترافیک پایین و حیاط منازل).
۲. حداقل نفوذپذیری خاک می‌بایست ۰/۸سانتی‌متر در ساعت باشد و همچنین، در حوضه موردنظر نسبت سطوح نفوذناپذیر به نفوذپذیر ۳ به ۱ باشد.
۳. روسازی نفوذپذیر در مناطق آلوده و سمی توصیه نمی‌گردد.
۴. در جانمایی این سطوح عمق یخبندان بررسی گردد.

از مزایای این روش می‌توان به ۱) ذخیره موقت آب، ۲) تغذیه آب‌های زیرزمینی، ۳) تصفیه رواناب شهری و بهبود کیفیت آن با استفاده از مکانیزم های صاف کردن، جذب سطحی خاک و تجزیه بیولوژیکی به‌دلیل عبور رولناب از لایه‌های خاک، ۴) استفاده برای سطوح نفوذناپذیر شهری، مانند روکش پیاده‌روها و پارکینگ‌ها، صحن ساختمان‌های اداری و عمومی و حیاط منازل و املاک خصوصی، ۵) کاهش حجم رواناب درصورت استفاده یکپارچه و پوشش ۳۰ درصدی سطح حوضه، ۶) جلوگیری از انباشت آب در سطح خیابان، ۷) افزایش نرخ نفوذ آب و ۸) جلوگیری از خیس شدن عابرین پیاده به هنگام عبور وسایل نقلیه و گل آلودشدن آن اشاره کرد [۱۷-۱۸].

با وجود ویژگی‌های ذکر شده، این روش معایبی نیز دارد که به شرح زیر است [۱۷-۱۸]:

۱. باتوجه به اینکه گرفتگی کارایی این سیستم‌ها را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد، استفاده از روکش‌های نفوذپذیر نیز باید در مناطقی مورد استفاده قرار گیرد که رولناب حاوی موادی از قبیل رس و لای نبوده و موجب پرشدن فضای خالی بین دانه‌های آن نگردد.
۲. باتوجه به زمان ماند هیدرولیکی در این روکش‌ها، ممکن است نگهداشت رواناب در این روکش‌ها پس از دو بارش همزمان پاسخگو نبوده و کارایی خود را از دست بدهد.
۳. در مناطق با بار ترافیکی بالا و دارای رولناب آلوده توصیه نمی‌گردد.
۴. هزینه راه‌اندازی بالاتر نسبت به روسازی‌های معمولی.

تحقیقات مختلفی در مورد عملکرد و اثربخشی روسازی‌های نفوذپذیر در نقاط مختلف جهان انجام شده است. Alyaseri و Zhou [۲۲] رولناب قبل از ساخت و بعد از ساخت روسازی نفوذپذیر، در سنت لوییس ایالات متحده، را مقایسه کردند. بنابر نتایج این تحقیق، کاهش رواناب از ۱۳ درصد برای آسفالت متخلخل تا ۴۶ درصد برای سنگفرش های بتنی به هم پیوسته نفوذپذیر متغیر بود. بیشتر قابلیت‌های کاهش حجم سنگفرش‌های نفوذپذیر به اندازه مساحت زهکشی مشارکت کننده نسبت داده می شود.

ارزیابی قابلیت سه نوع روسازی نفوذپذیر در بهبود کیفیت رواناب، در دوره زمانی ۲۲ ماهه، در مَدیسون ایالت ویسکانسِن ایالات متحده، نشان داد که ۱) روسازی نفوذپذیر جامدات معلق را تا تقریباً ۶۰ درصد کاهش می‌دهد، ۲) غلظت کلراید در زمستان کاهش یافت اما دوباره در بهار آزاد شد، ۳) آلاینده‌های محلول را به‌طور مؤثر تصفیه نمی‌کنند، و ۴) pH بالارفته در بتن نفوذپذیر ممکن است فسفات را کاهش دهد [۲۳]. همچنین، نتایج آزمایشات میدانی ۱۵ ماهه، به‌طور واضح، مزایای زیست‌محیطی سنگفرش‌های متخلخل در زمینه ۱) کاهش حجم و دبی اوج رولناب سطحی، ۲) مهار آب باران، ۳) تغذیه آب زیرزمینی، ۴) کاهش حرارت سطح سنگفرش (کاهش اثر پدیده جزیره حرارتی شهری) و ۵) تبخیر رواناب نفوذی به داخل مواد سنگفرش را نشان داد [۲۴].

۳-۱-۴- جوی‌باغچه‌ها

جوی‌باغچه یا آبراهه علفکاری شده (شکل۵) کانال خاکی عریض و کم‌عمقی است که برای جلوگیری از فرسایش و تسهیل نفوذ آب به درون خاک، علفکاری شده است. شیب کم جوی‌باغچه با استفاده از موانع در طول مسیر، نفوذ رواناب در خاک را افزایش می‌دهد و در این راستا، بخش قابل ملاحظه‌ای از آلودگی‌های آب نیز زدوده می‌شود [۱۱].

بهبود کیفیت رولناب به‌دلیل نفوذ بخشی از رولناب در خاک، کمک به تغذیه زیرزمینی و ایجاد چشم انداز و منظر زیباتر در شهر آب از مزایای این روش می‌باشد [۱۱، ۱۸، ۱۹]. مکانیزم نفوذ در جوی‌باغچه‌ها باعث تغذیه آب زیرزمینی می‌شود. البته، جوی‌باغچه مرطوب در تغذیه آب زیرزمینی مشارکت خیلی کمی دارد. مطالعه‌ای در ارتباط با ارزیابی عملکرد جوی‌باغچه‌ها در تصفیه رواناب بزرگراه [۲۵] نشان داد که ۱) جوی‌باغچه‌ها به طور قابل توجهی جامدات معلق کل و فلزات سرب، مس، روی و کادمیم را حذف کردند، ۲) آلاینده‌های متصل به ذرات بیشترین میزان حذف را داشتند و ۳) مکانیزم تصفیه غالب ته‌نشینی و صاف کردن درون لایه علف بود. همچنین، مرور فرآیندهای بهبود کیفیت رواناب در جوی‌باغچه‌ها توسط Gavrić و همکاران [۲۶] نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات تجربی کیفیت جریان جوی‌باغچه بر حذف آلاینده‌های همراه با رواناب جاده و به‌ویژه جامدات معلق تمرکز کردند، و مطالعات نسبتا کمی هم در مورد مواد مغذی، باکتری‌های همراه با هیدروکربن‌ها، مواد نیازمند اکسیژن، کلراید و باکتری نشانگر مدفوع انجام شده است.

با وجود مزایای جوی‌باغچه‌ها، این سامانه معایبی نیز دارد که موجب می‌گردد تا در مناطق توسعه‌یافته کارایی کمتری داشته باشد. در این مناطق، به دلیل تراکم جمعیت و رشد صنعتی، با بار رسوب بالا و تخریب پوشش گیاهی مواجه هستیم و این اتفاق باعث ایجاد مانداب و ایجاد تجمع پشه در منطقه خواهد شد. همچنین، این روش نیازمند شیب مناسب (کمتر از ۵ درصد) می‌باشد و مساحتی معادل حدود ۴ هکتار را می‌تواند تحت سرویس قرار دهد. وجود خاک خشک با نفوذپذیری زیاد، از قبیل ماسه، لوم ماسه، ماسه لومی، لوم و سیلت لومی، نیز یکی دیگر از شرایطی است که استفاده از این روش را محدود می‌کند [۱۱، ۱۸].

شکل ۵- جوی‌باغچه‌ها [۲۶]

۳-۱-۵- ترانشه‌های نفوذ

ترانشه نفوذ (شکل۶)، یک ترانشه طویل و کم عرض است که درون آن با ذرات درشت دانه و قطعات سنگ پر می‌شود و معمولاً مجرای خروجی ندارد. رواناب ورودی به این تاسیسات در فضای خالی مابین ذرات درشت دانه موقتاً ذخیره می‌شود و به تدریج از کف و دیواره‌ها به درون خاک اطراف ترانشه نفوذ می‌کند [۱۷].

از مزایای این سامانه می‌توان به ۱) کاهش حجم رولناب، ۲) تغذیه آبخوان، ۳) نیاز به فضای کم و عدم آشفتگی محیطی به علت زیر سطحی بودن آن، ۳) بهبود کیفیت رواناب و ۴) قابل استفاده در بین جاده‌ها اشاره کرد [۱۷-۱۸]. الزامی‌بودن بررسی و کنترل گرفتگی در آن‌ها، توصیه به استفاده از سیستم پیش‌تصفیه برای آن،

نیاز به حداقل فاصله ۱/۲ متری از آب زیرزمینی (توصیه می‌شود سطح آب زیرزمینی پایین باشد) و نامناسب بودن در مناطق صنعتی و تجاری، از معایب ترانشه‌های نفوذ به‌حساب می‌آید [۱۷-۱۸].

مهندسان طراحی به‌طور کلی از ترانشه‌های نفوذ برای نواحی زهکشی کوچکتر از ۵ هکتار، با نفوذپذیری نسبتاً بالا، استفاده می‌کنند [۲۷]. ترانشه‌های نفوذ اغلب برای نواحی خشک خیلی مناسب هستند، زیرا آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند. در بیشتر آب و هواهای سرد می‌توانند قابل اجرا باشند، اما چالش‌هایی برای استفاده آنها نیز وجود دارد.

داده‌های عملکرد برای کنترل‌کننده‌های برپایه نفوذ رواناب، به‌طور کلی، به حجم رواناب دریافت شده، رواناب نفوذیافته و همچنین، سطح پیش‌فرض نفوذ خاک مرتبط است [۲۸]. بررسی اثربخشی حوضه نفوذ رواناب[۱۴] در حذف آلاینده‌ها از رواناب شهری در شرق سیدنی توسط BIRCH و همکاران [۲۹] نیز نشان داد که حوضه‌های نفوذ رواناب به‌طور متوسط تا زیاد در حذف مواد معلق و فلزات کمیاب مس، سرب و روی مؤثر بوده اند. مطالعات کمی برای ارزیابی عملکرد ترانشه‌های نفوذ با در نظرگرفتن نفوذ هم از دیواره کناری و هم کف انجام شده است (برای مثال، ۳۰).

شکل ۶- ترانشه‌های نفوذ [۳۱]

۳-۱-۶- مخازن نگهداشت زیستی (باغچه‌های باران‌زاد)

سیستم‌های نگهداشت زیستی یا باغچه‌های باران‌زاد به‌طور گسترده در سرتاسر جهان، از جمله ایالات متحده آمریکا، استرالیا، چین، بریتانیا، کانادا، سنگاپور و نیوزلند، نصب می‌شوند [۳۲].

مخازن نگهداشت زیستی (شکل۷) از یک محدوده مخزن مانند سطحی و یک لایه خاکی زیرین تشکیل می‌شوند. آبی که در لایه بالائی سیستم جمع می‌گردد، از لایه‌های علف کاری شده سطحی، لایه کود گیاهی و لایه خاک تراوا عبور کرده و در نهایت، در سنگدانه‌های بستر به طور موقت ذخیره می‌گردد. آب ورودی به سامانه، یا به لایه‌های پائین‌تر خاک نفوذ می‌کند و یا از طریق یک لوله زهکشی مشبک به سمت تخلیه‌گاه یا یک کانال خروجی هدایت می‌شود. در مناطق شهری با تراکم زیاد، نواحی مانند نوارهای میانی خیابان، پارکینگ‌ها، جزایر ترافیکی، پیاده‌روها و سایر مناطق غیرقابل نفوذ، برای درنظر گرفتن سامانه‌های نگهداشت زیستی مناسب هستند [۱۰].

شکل ۷- مخازن نگهداشت دائمی زیستی و باغچه‌های باران‌زاد [۳۳]

باغچه باران‌زاد شرایط نفوذ و تصفیه رواناب جمع‌آوری شده را فراهم می‌کند و منجر به کاهش دبی اوج و حجم رواناب می‌گردد. البته مطالعه‌ای نشان داده است که تسهیلات برداشت آب مانند باغچه‌های باران‌زاد، می‌توانند به‌طور مؤثر سیل‌گرفتگی با شدت بارش کم را کاهش دهند، اما قادر به کاهش سیلاب با بزرگی بالا را ندارند [۳۴]. باغچه‌های باران‌زاد در ظاهر همانند باغچه‌های معمولی هستند، بنابراین، این نوع باغچه‌ها به راحتی می‌توانند جایگزین باغچه‌های موجود در منازل یا حاشیه خیابان‌ها شوند.

کاهش دبی اوج و حجم رواناب مناطق نفوذناپذیر، ایجاد شرایط مناسب برای نفوذ دادن آب به درون خاک، تصفیه رواناب (توانائی پاکسازی رسوبات ریزدانه، فلزات سنگین، مواد آلی و مغذی،

[۱۴] Stormwater Infilteration Basin

باکتری‌ها و مواد ارگانیک)، انعطاف فراوان برای تطابق و همخوانی با محل احداث طبق شـــرایط و ویژگی‌های محل مورد نظر و ایجاد منظره زیبا بواسطه کاشت انواع گیاهان از مزایای باغچه‌های باران‌زاد می‌باشـــد. از محدودیت‌های آن‌ها می‌توان به عدم کارایی آن‌ها در شیب‌های زیاد (بیش از ۱۵ درصد) و ایجاد مشکل در عملکرد و از کار افتادن آنها در صورت وجود بار زیاد رسوبات، اشاره کرد [۳۵].

Tang و همکاران [۳۶] نشان دادند که حتی اگر حوضچه‌های نگهداشت زیستی بخش کوچکی از مساحت شهر را اشغال کنند، می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه‌ای اثر هیدرولوژیکی نامطلوب حاصل از نفوذناپذیری را کاهش دهند.

طراحی حوضچه نگهداشت زیستی و انتخاب مؤلفه‌های آن به ویژگی‌های هیدرولوژیکی، بار آلودگی رولناب، نوع پوشـــش گیاهی، محیط خاک و لایه‌های زیرین بســـتگی دارد [۳۷]. انتخاب دقیق پوشش گیاهی در حین طراحی سیستم‌های فیلتراسیون زیستی برای دستیابی به نتایج عملی موردنظر حیاتی است. دوام و رشد گیاه شدیدا وابسته به آب و هوا می‌باشد و این به‌وضوح نیاز برای تحقیق بر عملکرد حوضچه‌های نگهداشت زیستی در آب‌وهواهای مختلف را نشـــان می‌دهد. [۳۸-۳۹]. بررســـی نوع و ماهیت رواناب ورودی به نگهداشـــت زیســـتی نیز حیاتی اســـت. اگر انتظار می‌رود که رواناب شامل رسوبات معلق بالا باشد، مطلوب است که نوارهای بافر گیاهی (علف)، به منظور پیش تصفیه، نصب شود [۴۰].

راهنماهای طراحی ویژه‌ای برای نصـــب و اجرای ســـیســـتم‌های نگهداشت زیستی برای مناطق جغرافیایی منتخب توسعه یافته است [۴۱-۴۲]. Vijayaraghavan و همکاران [۴۳] بیان می‌کنند که سازگار کردن این راهنماها بدون درنظر گرفتن شرایط زیرساختی و آب‌وهوایی محلی اغلب به شکست اجرایی سیستم‌های نگهداشت زیستی منجر می‌شود، که در حال حاضر بسیاری از شهرداری‌ها با آن مواجه هستند. برای مثال Wang و همکاران [۴۴] اشاره کرده‌اند که اثربخشی ضعیف سیستم‌های نگهداشت زیستی نصب شده در کشورهای گرمسیری (استوایی، مانند سنگاپور) غالبا به‌دلیل اینکه این سیستم‌ها براساس راهنماهای مناطق معتدل طراحی شده‌اند، رخ می‌دهد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود بررسی‌های سیستماتیک محلی و میدانی بر سیستم‌های نگهداشت زیستی، برای حداقل ۸ ماه قبل و بعد تصفیه، انجام شود [۴۳].

۳-۱-۷- مخازن ذخیره موقت رواناب

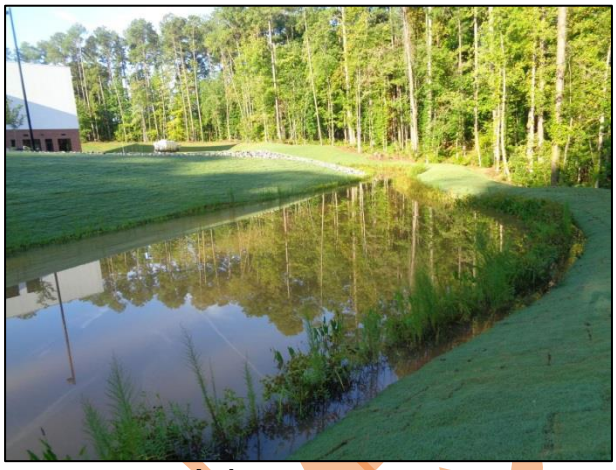
اســـتخرها یا حوضـــچه‌های نگهداشـــت موقت رواناب (شـــکل ۸)، مخازن و یا تأســـیســـات ذخیره ســـطحی هســـتند که با ذخیره موقت رولناب حاصـــل از بارندگی و کنترل جریان خروجی، موجب کاهش دبی اوج ســـیلاب می‌شـــوند. میزان جریان خروجی از این مخازن به ظرفیت تأسیسات پایین دست مخزن بستگی دارد [۴۶].

شکل ۸- مخازن ذخیره موقت رواناب [۴۵]

از مزایای این سامانه می‌توان به ۱) کمک به ته‌نشینی مواد جامد معلق و ۲) قابل استفاده بودن در مناطق توسعه‌یافته و پر تراکم شهری و همچنین پارکینگ‌ها اشاره کرد [۴۶]. تجمع پشه و حشرات در منطقه، در صورت طراحی و نگهداری ضعیف این حوضچه‌ها، و امکان ایجاد بو و مزاحمت برای ساکنین، در صورت عدم زهکشی مناسب در محدوده شهری، از محدودیت‌های این سامانه می‌باشد.

۳-۱-۸- مخازن ذخیره دائمی

در اوقات خشـــک و بدون باران که تنها جریان پایه برقرار اســـت، این نوع مخزن (شـــکل ۹) به صورت یک حوضچه دائمی عمل نموده و ســـطح آب حوضـــچه از ســـطح فوقانی بخش دائمی مخزن بالاتر نمی‌رود. در مواقع ســـیلابی، جریان ورودی به حجم موجود در بخش دائمی مخزن افزوده می‌شـــود و بخش دیگری از مخزن را اشـــغال می‌کند که در بالای مخزن دائمی قرار دارد، ســـپس به تدریج تخلیه می‌گردد. این گونه مخازن در کنترل و ته‌نشـــینی رســـوبات ورودی به حوضچه موثر بوده و کیفیت آب را نیز تا حد زیادی بهبود می‌بخشند [۴۷].



شکل ۸- مخازن ذخیره دائمی [۴۸]

حوضچه‌های دائمی یا مرطوب نسبت به حوضچه‌های نگهداشت موقت و خشک، غالباً منظر زیباتری را ایجاد می‌کنند و کارآیی بیشتری در تصفیه رواناب های شهری دارند. اما، استفاده از آن‌ها در شرایطی مطرح می‌شود که یک جریان پایه دائمی در سراسر طول سال، یا در اکثر اوقات، وارد حوضچه یا استخر گردد [۴۷]. مقایسه اثربخشی حوضه‌های نگهداشت موقت و دائمی (برای جلوگیری از اثرات منفی افزایش رواناب) در شهرستان جیمزسیتی ویرجینیا نشان داد که در رخدادهای طوفانی، حوضه‌های خشک غلظت بالاتری از رسوبات و مواد مغذی محلول را نسبت به حوضچه مرطوب تخلیه می‌کنند [۴۷].

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که زمان ملند هیدرولیکی[۱۵] (HRT) یک حوضچه نگهداشت دائمی، متغیر کلیدی تعیین‌کننده اثربخشی تصفیه آن می‌باشد [۴۸]. همچنین، یک تحقیق پایشی به مدت ۱ سال بر حوضچه ذخیره دائمی در ساحل ویرجینیای ایالات متحده آمریکا نشان داد که ویژگی‌های بارش، شامل عمق بارش، حداکثر شدت بارش و دوره خشک پیشین، نقش مهمی در اثربخشی حذف و تصفیه این حوضچه‌ها داشته است [۴۹].

۳-۱-۹- تالاب مصنوعی

تالاب‌های مصنوعی (شکل۱۰)، حوضچه‌های نگهداشت کم عمقی هستند که با دریافت جریان پایه دائم و پیوسته و استفاده از پوشش گیاهی متراکم، از سرعت رواناب کاسته و زمان لازم را برای رسوب‌گذاری، نفوذ آب و جذب بیولوژیک آلاینده‌ها به وجود می‌آورند [۵۰]. کارایی تالاب‌ها مصنوعی در کاهش دبی اوج سیلاب ورودی، قابل قبول می‌باشد و همچنین، سازگاری خوبی با محیط اطراف و شرایط اکولوژیکی بالقوه منطقه دارد. اما، در کاهش حجم سیلاب کارایی ضعیفی نشان می‌دهند [۵۰]. نقطه ضعف عمده این تأسیسات نیاز به جریان پایه دائم و همیشگی برای حصول اطمینان از ادامه حیات تالاب است.

در زمینه حذف آلودگی، تالاب‌های مصنوعی از مؤثرترین کنترل کننده‌ها به‌حساب می‌آیند. تالاب‌های مصنوعی کمتر به تغییرات بار آلودگی حساس بوده و قادر به تصفیه آب معدن‌کاری، فاضلاب صنعتی، فاضلاب خانگی، فاضلاب حیوانی، رواناب شهری و رواناب مزرعه هستند [۵۱]. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که وجود پوشش گیاهی (که به‌طور قابل توجهی اثربخشی فرآیند تصفیه را افزایش می‌دهد) و زمان ماند بهینه مقاومت سیستم در برابر غلظت متغیر آلاینده‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد [۵۱].

برنامه‌ریزان می‌بایست بین استفاده از یک تالاب مصنوعی برای مدیریت رواناب و انحراف رواناب به یک تالاب طبیعی تفاوت قائل باشند؛ آنها باید از انحراف رواناب به تالاب طبیعی جلوگیری کنند چون تغییر هیدرولوژی یک تالاب طبیعی می‌تواند به نوبه خود به اکوسیستم طبیعی آسیب وارد کند.

شکل ۹- تالاب مصنوعی [۵۲]

[۱۵] Hydraulic Residence Time: HRT

۳-۱-۱۰- بام سبز

بام سبز (شکل ۱۱) سامانه چند لایه‌ای است که سقف و بالکن یک ساختمان را با پوشش گیاهی پوشانده و با جذب و نگهداری بخشی از حجم باران و با استفاده از فرآیندهای تبخیر-تعرق و تصفیه، حجم و دبی اوج رواناب را کاهش می دهد. بنابراین، می‌تواند خطر مشکلات سیل‌گرفتگی ناگهانی در نواحی شهری را کاهش دهد [۵۳]. مطالعات پیشین عملکرد بام‌های سبز در زمینه کاهش حجم رولناب و تأخیر دبی اوج را در مقایسه با بام‌های مرسوم گزارش کرده‌اند [۵۵-۵۴]. علاوه بر این، بام سبز موجب بهبود کیفیت آب‌وهوا، حفظ زیبائی شهر و جلوگیری از اتلاف انرژی ساختمان می‌گردد [۵۴]. بام‌های سبز را می‌توان برای بسیاری از مناطق، ازجمله خانه‌های مسکونی و آپارتمان‌ها، تأسیسات صنعتی، ساختمان‌های تجاری و گاراژها طراحی کرد. با این وجود، عواملی نظیر ظرفیت باربری سقف، مقاومت غشای سقف برای نفوذ رطوبت و ریشه، وزش باد و شکل و شیب سقف باید قبل از آن درنظر گرفته شوند.

هزینه بالاتر نسبت به بام‌های سنتی، مناسب نبودن برای بام با شیب تند (بیش از ۲۵ تا ۳۰ درجه از قبیل سوله‌های صنعتی)، نیاز به مراقبت و نگهداری از پوشش گیاهی، تقویت سازه سقف، امکان نفوذ آب به داخل سقف در صورت آسیب و عدم اجرای مناسب و نیاز به آبیاری زیاد در زمان رشد و جولنه زدن گیاه از معایب این سامانه می‌باشند [۱۸-۱۷].

شکل ۱۱- بام سبز [۵۶]

اگرچه بام‌های سبز گران هستند، اما در طی ۳۰ سال گذشته، به‌دلیل مزایایشان، در بیشتر کشورهای توسعه یافته، مانند آلمان، استرالیا، سوییس، اتریش، ایالات متحده آمریکا، ژاپن، سنگاپور و کره جنوبی، محبوب‌تر شده‌اند [۵۶-۵۷]. از آنجا که در نواحی شهری توسعه یافته، مساحت سطح بام ۴۰ تا ۵۰٪ همه سطوح نفوذناپذیر کل را تشکیل می‌دهد، بام سبز روش مؤثری در کاهش رواناب و دبی اوج در نواحی شهری در نظر گرفته می‌شود [۵۷]. تحقیق Shafique و همکاران [۵۷] بر روی عملکرد بام‌های سبز در سئول (کره جنوبی) بیان می‌کند که نگهداشت رولناب بر روی بام‌های سبز غالباً به شدت و مدت رخدادهای بارندگی بستگی دارد که مقدار میانگین آن در شهر سئول بین ۱۰٪ تا ۶۰٪ در رخدادهای بارش متفاوت بود. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد گسترده بام سبز نتایج امیدوارکننده‌ای برای مدیریت رواناب در نواحی متراکم شهری سئول ارائه می‌کند.

عملکرد مدیریت رواناب بام سبز تحت انواع مختلف بام سبز و شرایط آب‌وهوایی متفاوت است [۵۸]. نتایج نگهداشت رواناب بام‌های سبز به سن بام سبز هم بستگی دارد [۵۵]. مطالعات پیشین نشان دادند که بام‌های سبز قدیمی‌تر می‌توانند رولناب بارش بیشتری را در مقایسه با بام سبز جدید نگه دارند [۵۵]. انتخاب عمق محیط خاک بام سبز عامل بسیار مهمی در کاهش دبی اوج می باشد [۵۷].

۳-۲- طراحی و اجرای اقدامات توسعه کم‌اثر

یکی از مسائل مهم در بکارگیری این روش‌ها، تعیین مکان‌های مناسب برای احداث آن‌ها با توجه به معیارهای مختلف است. محل اجرای این تکنیک‌ها روی میزان دبی اوج و حجم جریان تاثیرگذار بوده و احداث آن‌ها در مکان‌های نامناسب می‌تولند منجر به بدتر شدن شرایط دفع سیلاب شود [۱۹]. با توجه به وجود انواع اقدامات توسعه کم اثر و مکان‌های بالقوه طراحی، فرآیند انتخاب انواع مناسب روش‌های توسعه کم اثر، در شرایط مکانی متفاوت، پیچیده است. از طرف دیگر، بودجه محدود، تعیین یک راه حل توافقی برای هماهنگی بین توسعه و حفاظت از منابع را ایجاب می‌کند. بنابراین، این فرآیند نیازمند اطلاعات ورودی زیاد و معیارهای متعدد برای تصمیم‌گیری است. زمانی که بیش از یک معیار تصمیم‌گیری دخیل است، تصمیم‌گیری ضرورتا یک تصمیم‌گیری چندمعیار

(MCDM[۱۶]) خواهد شـــد. حتی، تعیین طرح ایده‌آل یا نزدیک به ایده‌آل در مورد یک نوع از روش‌های توســـعه کم‌اثر، نیازمند درنظر گرفتن بیش از دوازده عدد پارامتر اســـت [۵۹]. از این رو، ضـــروری اســـت به منظور ارائه برنامه مدیریت رولناب در حوضـــه‌های آبخیز شـــهری برای انتخاب مناســـب‌ترین نوع، مکان و ترکیب از روش‌های توسعه کم‌اثر، مجموعه‌ای از معیارهای دخیل مدنظر قرار گیرد.

۴- تجارب جهانی در اســـتفاده از رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری

در سـال‌های گذشـته، پذیرش فناوری و شـیوه‌های غیرمتمرکز مدیریت رواناب شـهرها، به ویژه زیرسـاخت‌های سـبز، افزایش پیدا کرده است. ازجمله عوامل مؤثر در این امر، از یک‌سو، مزایای تأمین منابع و حفاظت محیط‌زیســـت و از ســـوی دیگر، صـــرفه‌جویی در هزینه‌های کلان احداث زیرســـاخت‌های ســـنتی کنترل رولناب در شـــهرها می‌باشـــد. ســـایر عوامل مؤثر در افزایش اقبال به مدیریت غیرمتمرکز رواناب شـامل کاهش خسـارات ناشـی از رواناب، بهبود کیفیت هوا و بهبود زیبایی شناختی شهری است [۶۰].

حامیان محیط‌زیســـت اقداماتی را برای تشـــویق و حمایت از زیرســـاخت‌های ســـبز پیشـــنهاد کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به تصـــویب قوانینی برای کمک به اجرای پروژه‌ها و کمک به ایجاد پایگاه اطلاعاتی در مورد نحوه اجرا و صـرفه اقتصـادی اشـاره کرد. با این وجود، برخی از مهندسین مشاور و مدیران شهری انتقادهایی را در مورد ریسک و عدم اطمینان در مورد هزینه و امکان دستیابی به اهداف کیفیت آب مطرح می‌کنند. در مقابل، مدافعان این اســـتدلال را مطرح می‌کنند که بدون تأمین مالی برای اقدامات زیرســـاخت ســـبز، آســـیب‌های اقتصـادی و تأثیرات کیفیت آب ناشـی از رواناب پرهزینه‌تر از حمایت از چنین اقداماتی خواهد بود [۶۰].

تحولاتی که طی نیم قرن گذشـــته در دیدگاه‌های مرتبط با مدیریت آب‌های سطحی رخ داده، تحقیقات و بررسی‌های بین‌المللی دربارهٔ این دیـدگاه‌هـا و جمع‌بنـدی اقـدامـات و تجـارب کـاربردی درمناطق مختلف جهان، در مجموع حاکی از آن اسـت که شـرایط و امکانات، محدودیت‌ها و الزامات محلی می‌باید درجذب و بومی‌سازی دیدگاه‌های نوین در نظر گرفته شود [۶۰]. در ادامه، تجربه‌های چند کشـــور از قاره‌های مختلف، با ویژگی‌های مختلف محیطی، به‌طور مختصر ارائه می‌گردد.

۴-۱- ایالات متحده آمریکا

به نظر می‌رسـد اولین اسـتفاده از رویکردهای توسـعه کم‌اثر در ایالات متحده، با معرفی قانون آب پاک فدرال ایالات‌متحده در سـال ۱۹۷۲ توســـعه یافت [۶۱]. رویکردهای توســـعه کم‌اثر اولین بار در سال ۱۹۹۳ در ناحیه‌ی پرینس جورج ایالت مریلند آمریکا، به عنوان روشـــی برای کم کردن اثرات منفی شـــهرنشـــینی و نفوذناپذیری ســـطوح بیـــان گردیـــد [۶۲]. اصطلاح بهترین شیوه‌های مدیریت (BMPs)، سـپس، برای پرداختن به مسـائل آلودگی مورد اسـتفاده قرار گرفت.

در ایالات متحده، رویکردهای توسعه کم اثر توسط هر ایالت با تنوع زیاد اجرا و مدیریت می‌شـــود. برای کمک به متخصـــصـــان برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده وب‌ســـایتی مخصـــوص برای ابزارهای طراحی شـــهری رویکردهای توسعه کم اثر فراهم نموده است [۶۱].

کوپلند [۶۰]، کارشناس منابع و سیاست‌های محیط‌زیستی، در گزارشی، با عنوان زیرساخت سبز و مسائل مربوط به مدیریت رواناب شـــهری (متعلق به خدمات تحقیقات کنگره ایالات متحده)، مانع اصلی بر سر راه توسعه این زیرساخت‌ها را کمبود بودجه بیان کرده است. برای رفع این مشکل بسیاری از شهرداری‌ها در ایالات متحده سعی می‌کنند با ارائه مشوق‌ها، شهروندان و مالکان خانه‌ها را تشویق کنند تا از زیرســـاخت‌های ســـبز اســـتفاده کنند؛ متداول‌ترین نوع مکانیسـم‌های تشـویقی محلی عبارتند از: تخفیف یا اعطای اعتبار در تأمین هزینه‌ها، تخفیف یا تأمین مالی در نصـــب روش‌های خاص و اعطای جایزه و تقدیر. برنامه مجوز ســـبز شـــیکاگو، مجوزها را برای پروژه‌هایی که معیارهای طراحی خاصـی، شـامل شـیوه‌های مدیریت بهتر رواناب، را درنظر می گیرند، را ســـریع‌تر بررســـی می‌کند. طرح پاداش نســـبت مســـاحت در پورتلند، مســـاحت مجاز احداث بنای ســـاختمان را درازای افزودن بام ســـبز افزایش می‌دهد. برخی از شـــهرداری‌ها برای هزینه بشـــکه‌های باران، کاشـــت گیاهان و ســـایر

[۱۶] Multi Criteria Decision Making

موادی که می‌توانند برای کنترل رواناب استفاده شوند، یارانه می‌دهند.

شهر نیویورک، متراکم‌ترین شهر در ایالات‌متحده، از طریق وزارت حفاظت از محیط‌زیست، به تغییر رویکرد مدیریت رولناب، تحت برنامه راهبردی حفاظتی ۱۴-۲۰۱۱، روی آورده است. هدف این برنامه راهبردی به حداکثر رساندن زیرساخت‌های سبز و کاهش رواناب از مناطق توسعه یافته موجود و جدید می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، برنامه‌ریزی شد که در طی ۲۰ سال آینده به‌تدریج تمهیداتی برای جمع‌آوری ۲۵ میلی‌متر اول بارندگی در ۱۰ درصد از مناطق غیرقابل نفوذ ایجاد شود. طرح زیرساخت سبز سرمایه‌گذاری عمومی و خصوصی را در زمینه جوی باغچه ها، بام‌های سبز و سایر تمهیدات کنترل در منشا افزایش می‌دهد. سایر مزایا طرح زیرساخت سبز دمای خنک‌تر شهری، کیفیت هوای بهتر، فضای سبز بیشتر، صورت‌حساب‌های انرژی کمتر، ارزش ملک بالاتر و کاهش سرریز فاضلاب ترکیبی می باشد [۶۲].

علاوه بر تجربیات عملیاتی ایالات متحده، مطالعات تحقیقی زیادی نیز انجام شده است [۶۳] . طبق نتایج این مطالعات، تصفیه اولین رواناب که دارای غلظت بیشتری از آلاینده می باشد، سیاست مدیریتی بهتری نسبت به تصفیه کل رواناب پس از پیوستن به آب های سطحی باشد. این موضوع به این دلیل بیان می شود که عامل اصلی هزینه تصفیه حجم آب می باشد (نه غلظت آلاینده) و همچنین، بازده حذف در غلظت‌های بالاتر بیشتر است. [۶۳].

۴-۲- کانادا

کانادا در اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع به توسعه برنامه‌ریزی سیلاب، شامل حوضچه‌های نگهداشت بر روی آبرو کنار جاده و سیستم‌های لوله‌کشی، کرد [۶۴]. در سال ۱۹۹۲، استان بریتیش کلمبیا کتاب راهنمای برنامه‌ریزی سیلاب را تهیه کرد که تشخیص داد حوضچه‌های نگهداشت می‌توانند سیل را کاهش دهند، اما معمولاً از فرسایش مداوم کانال که تأثیرات نامطلوب بر اموال و ماهیگیری ایجاد می‌کند، جلوگیری نمی‌کنند. راه‌حل‌های نگهداشت نیز اغلب اجازه نمی‌دهند جریان پایه پایدار که ازنظر اکولوژیکی در ماه‌های خشک حیاتی است، جریان داشته باشد.

در سال ۲۰۰۳، کتابچه راهنمای برنامه‌ریزی و طراحی مدیریت توسعه کم اثر رواناب و سیلاب منتشر شد [۶۵]. در این کتابچه بر فرصت‌های نفوذ در مقیاس محلی تمرکز شد و تشخیص داده شد که در راه‌حل‌های مدیریت سیلاب باید شرایط خاص محلی را در نظر بگیرند. هدف نهایی توسعه کم اثر، حفظ شرایط هیدرولوژیک طبیعی یا پیش از توسعه و به حداقل رساندن حجم رواناب تولیدشده در منطقه (به‌عنوان‌مثال، محله، بخش فرعی یا قطعه فردی) تعریف شد. کاهش رولناب به‌صورت کاهش حجم کل رولناب از طریق نگهداری آب توسط تاج درختان، تبخیر، برداشت آب باران، تبخیر-تعرق رولناب تعریف می‌شود. روش توسعه کم اثر در این راهنما شامل مجموعه‌ای از راهبردهای طراحی سایت است که رواناب را با روش‌های سازه‌ای توزیع‌شده در مقیاس کوچک، از طریق فرآیندهای نفوذ، تبخیر- تعرق، برداشت، فیلتراسیون و نگهداشت رواناب، به حداقل می‌رساند. در این راهنما، تعدادی سازه توسعه کم‌اثر پیشنهاد شد که درتعدادی از آن‌ها فضایی برای ذخیره برف نیز فراهم شد. سازه‌ها برای مقاومت در برابر شرایط آب‌وهوای سرد در منطقه، مقاومت در برابر شرایط یخزدگی و ذوب شدن و در صورت امکان بهبود کیفیت رواناب ذوب برف سازگار شدند. نگرانی‌هایی وجود دارد که در آب‌وهوای سرد که زمین می‌تواند یخزده باشد، با نفوذپذیری ضعیف بستر و نرخ رشد بیولوژیکی پایین که همزمان با جریان‌های زیاد ناشی از ذوب برف‌های بعدی است، روش‌های توسعه کم‌اثر ممکن است کمتر مؤثر باشند. با این حال، [۶۶] نشان دادند درحالی‌که اثرات ناشی از آب‌وهوای سرد مشاهده‌شده بود، آن‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای راندمان هیدرولیکی روش‌های توسعه کم‌اثر را تغییر ندادند.

۴-۳- فرانسه

به دلیل تنوع رویدادهای سیل در اروپا، انعطاف‌پذیری زیادی در اهداف و اقدامات به دولت‌های اروپایی واگذار می‌شود [۶۷]. به‌عنوان‌مثال، در پاریس، روش ارسال آب به خارج از شهر از طریق لوله به مدیریت آن در محل یا در سطح حوضه رودخانه، با استفاده از روش‌های جایگزین، ازجمله بام‌های سبز، باغچه‌های باران‌زاد و تالاب‌ها، تغییر کرده است و تشویق به صاف کردن و استفاده مجدد از آب در دستور کار قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۶ رویکردهای جایگزین چندین شهر دیگر فرانسه تشریح شد [۶۸]. در سال ۲۰۱۴، دفتر بین‌المللی آب، در لیموژ، مجموعه‌ای از «تکنیک‌های

جایگزین» ساختارهای کنترل رواناب را بر اساس نگهداشت و نفوذ ارائه کرد [۶۹].

۴-۴- هلند

هلند مثالی است که در آن اهداف خاص اتخاذ توسعه کم‌اثر (*LID*) یا *WSUD* با شرایط جغرافیایی محلی تعریف می‌شود [۳]. بخش اعظم هلند شامل زمین‌های پست ساحلی است که از دریا پس گرفته‌شده‌اند و سطوح آن‌ها پایین‌تر از سطح دریا قرار دارد و توسط دایک‌ها محافظت می‌شوند. با توجه به بارندگی‌هایی که مناطق شهری درحال گسترش را تهدید می‌کند، لازم است اقداماتی برای مدیریت پایدارتر آب ایجاد شود. در سپتامبر ۱۹۹۸، بارندگی ۱۳۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت باعث جاری شدن سیل شدید در بسیاری از مناطق پست هلند شد، زیرا ظرفیت زهکشی زمین‌های پست ساحلی هلند برای حذف ۱۴ میلی‌متر بارندگی در هر ۲۴ ساعت طراحی شده بود [۳]. درنتیجه، نگهداری و جمع‌آوری غیرمتمرکز آب باران (به عنوان مثال، آب‌های نگهداری شده توسط بام‌های سبز یا جمع‌آوری‌شده از ساختمان‌ها و مناطق ترافیکی) و ذخیره محلی آب باران در نهرهای کنار جاده، حوضچه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن الزامی شده است [۷۰].

فقط آب اضافه بر ظرفیت نگهداشت، نفوذ و ذخیره در محل می‌تولند از پلدرها (*Polders*) به رودخانه‌ها یا کانال‌ها و از آنجا به دریا تخلیه شود [۳]. توسعه‌های شهری جدید در دشت‌های هلند مستلزم ساخت‌وساز و ادغام اجباری رواناب روباز است، که شامل ۵-۱۰ درصد از مساحت زمین‌های درحال‌توسعه است [۷۰].

۴-۵- ژاپن

ژاپن کشوری غالبا کوهستانی است. شهرهایی با تراکم بالا در مناطق کم ارتفاع ساخته‌شده‌اند و به‌طور فزاینده‌ای در معرض سیل هستند. نزدیک به ۳۰ درصد از شهرهای ژاپن درگذشته باران‌های سیل‌آسای محلی (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در ساعت) را تجربه کرده‌اند [۳]. ژاپن در سال ۱۹۷۳ استفاده از پیاده‌روهای قابل‌نفوذ را به‌عنوان رویکردی برای آنچه که به توسعه کم‌اثر تبدیل شده است، معرفی کرد. در سال ۱۹۹۳، این روش برای استفاده احتمالی در جاده‌های کم تردد گسترش یافت و از آن زمان در جاهای دیگر معرفی شد [۴]. کتابچه راهنمای تصفیه رواناب سطح جاده در سال ۲۰۰۵ منتشر شد [۷۱]. انجمنی صنعتی در ژاپن به منظور ارتقای فناوری و تأسیسات ذخیره، نفوذ و استفاده از آب باران در مقیاس حوضه رودخانه تاسیس شده است. هدف نهایی این انجمن، دستیابی به تعادل بین کنترل سیل و استفاده از آب و حفظ محیط آبی می‌باشد. تکنیک‌های تشویق شده شامل گودال‌هایی مرطوب با پوشش گیاهی کنار پیاده‌روهای نفوذپذیر، آسفالت‌های نفوذپذیر، جوی‌باغچه‌ها و ذخیره‌سازی و نفوذ آب باران در مجاورت جاده‌ها است [۷۲]. هر سامانه‌ای باید حفظ و تمیز نگه داشته شود و همچنین، آلودگی حاصل از "شستوشوی اولیه" نیاز به توجه خاصی دارد. تعمیر و نگهداری نیاز به همکاری بین سازمان‌های دولتی محلی، مالکان ساختمان‌ها و مقامات راه‌ها را برجسته می‌کند [۷۳].

۴-۶- تایوان

کشور تایوان اهمیت یک رویکرد کاملاً خاص مبتنی بر "طراحی شهری حساس به آب" (*WSUD*) را نشان می‌دهد [۳]. توپوگرافی ساحل شرقی این جزیره، تپه‌ای تا کوهستانی با رودخانه‌های کوتاه و جریان موسمی است که به سمت ساحل غربی تخلیه می‌شوند. بیشتر شهرهای تایوان بر روی دشت‌ها و دلتاها ساخته شده‌اند. به‌عنوان‌مثال، هسینچو[۱۷]، یک شهر به‌سرعت در حال رشد است که هم از خشکسالی و هم از سیل رنج می‌برد [۳]. در مدیریت آب پایدار در شهر هسینچو، مستلزم ادغام شبکه‌ای از آب‌های زیرزمینی و سطحی روباز، برای حفظ و ذخیره آب باران در مناطق توسعه شهری جدید، مانند دشت‌های روانابی و زمین‌های کشاورزی موجود، می باشد. مناطقی که به‌عنوان دشت‌های روانابی در طول رویدادهای بارش شدید که درگذشته رخداده‌اند، شاید تنها یک‌بار در ۱۰۰ سال، عمل کرده‌اند. اما، به احتمال زیاد، به دلیل تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی، برای اهداف کشاورزی محفوظ و مناسب‌تر خواهند شد. از این دشت‌ها برای توسعه شهری نمی‌توان استفاده کرد ، اما، مکان‌های مناسبی برای نگهداشت و نفوذ رواناب در فصل مرطوب می‌باشند. در فصل خشک، نیز، برای اهداف کشاورزی مناسب هستند [۷۰].

[۱۷] Hsinchu

۵- ارزیابی عملکرد رویکردهای غیرمتمرکز مدیریت رواناب سطحی شهری

برای ارزیابی مزایای محلی در مقیاس کوچک و همچنین، اثرات تجمعی اجرای صدها یا حتی هزاران رویکرد بهترین شیوه مدیریتی (*BMP*) و توسعه کم اثر (*LID*)، در سطح یک حوضه آبریز وسیع، عوامل تاثیرگذار متنوعی نیاز به بررسی دارد. توجه به این نکته ضروری است که یک راه حل استاندارد منفرد در همه‌جا نمی‌تواند مؤثر باشد. فاکتورهایی مانند فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های طبیعی در مقیاس حوضه آبریز می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی از مکانی به مکان دیگر تغییر کنند. چالش اصلی پیش روی تصمیم‌گیرندگان این است که چگونه بهترین ترکیب رویکردها را برای اجرا، از بین گزینه‌های زیاد موجود انتخاب کنند [۷۴].

مطالعات مختلف روش‌های متنوعی برای انتخاب بهترین رویکردهای مدیریت غیرمتمرکز رواناب پیشنهاد می‌کنند و در سال‌های اخیر سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در مورد طراحی این رویکردها توسعه یافته است. ابزارهای مدل‌سازی به‌طور مشخص برای پشتیبانی از انتخاب و ارزیابی گزینه‌های مناسب *LID/BMP* لازم هستند [۷۴]. در طول دو دهه گذشته، پیشرفت‌های عمده‌ای در ابزارهایی که مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندهای محیطی شهری را تسهیل می‌کنند، وجود داشته است. اما نکته ضروری در این مدل‌ها در نظر گرفتن چرخه آب در مدل‌سازی آب شهری است. مدل‌های آب شهری ازنظر نحوه ساختار و قابلیت‌های آن‌ها برای بررسی جنبه‌های مختلف سیستم آب شهری بسیار متفاوت هستند. بنابراین، انطباق یک مدل مناسب با یک زمینه خاص برای دستیابی به اهداف مدیریت آب شهری ضروری است [۷۵]. برای تسهیل استفاده از ابزارهای پشتیبان تصمیم توسط مدیران حوضه آبریز، این ابزارهای مدل‌سازی باید شامل ادغام یکپارچه رابط سامانه اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، مدل‌های شبیه‌سازی حوضه آبریز، مدل‌های شبیه‌سازی برپایه فرآیند *LID/BMP* و مدل‌های بهینه‌سازی هزینه باشند [۷۴]. از جمله روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری می‌توان به سیستم پشتیبان بهترین رویکرد مدیریتی برپایه *GIS* (*Best Management Practice Decision Support System; BMPDSS* [۷۶]) و همچنین، سامانه ادغام تصفیه و تجزیه و تحلیل رواناب شهری (*System for Urban Stormwater Treatment and Analysis INtegration; SUSTAIN* [۷۷]) اشاره کرد. هر دو روش *BMPDSS* و *SUSTAIN* کاربردهای چند مقیاسی (سایت، منطقه و حوضه آبخیز)، شبیه‌سازی دقیق فرآیندهای *BMP* و شبیه‌سازی‌های بهینه‌سازی هزینه انجام می‌دهند.

در کنار این روش‌های جامع و پیچیده، گاهی نیاز به ابزارهای انتخاب ساده‌تری به‌عنوان ابزاری برای بررسی رویکردهای مختلف مدیریت غیرمتمرکز وجود دارد. [۷۸] یک سامانه انتخاب چندمتغیره برای طراحی *LID/BMP* ایجاد کردند؛ شاخص‌های این سامانه شامل ۱۲ شاخص رده اول و ۲۶ شاخص رده دوم است که بازتاب‌کننده ویژگی‌های منطقه مورد نظر می باشد. روش انتخاب به این صورت است که ابتدا به هر شاخص رده دوم یک مقدار عددی الحاق می‌شود که براساس ویژگی‌های منطقه و اطلاعات در مورد *LID/BMP* می‌باشد. شاخص ها، نرمال شده، سپس، برای تعیین رتبه هر شاخص رده اول، ادغام می‌شوند. در نهایت، *LID/BMP* های مناسب برای یک منطقه مشخص برحسب رده امتیازات نهایی انتخاب می‌شود. آنها، همچنین، برای تسهیل این سازوکار رده‌بندی، یک نرم‌افزار (به نام *BMPSELEC*)، با استفاده از زبان برنامه‌نویسی جاوا، طراحی کردند.

به‌طور کلی، برای ارزیابی رویکردهای نوین مدیریت غیرمتمرکز رواناب، در ابتدا می‌بایست هر کدام از رویکردها به‌طور دقیق از جهات مختلف، از جمله مزایا و معایب، اصول طراحی و ساخت و هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری، مورد بررسی قرار گیرند. سپس، پارامترهای اساسی نوع و میزان آلاینده ورودی و دبی رواناب و همچنین، ویژگی‌های منطقه مورد نظر برای احداث آن ها، از جمله میزان تراوایی زمین، نوع کاربری مجدد رواناب، مقدار زمین موجود برای احداث سازه و شیوه نگهداری از تأسیسات، تعیین گردد. در نهایت، با تلفیق این اطلاعات و با به‌کارگیری نرم‌افزارهای مدل سازی، تصمیم نهایی برای انتخاب بهترین رویکرد برای منطقه مورد نظر گرفته شود.

۵-۱- شبیه‌سازی کمی و کیفی رواناب

همانطور که بیان شد برای انتخاب بهترین رویکردهای مدیریت رواناب، ابزارهای مدل‌سازی به کمک سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری می‌آیند. در واقع، در ابتدا با استفاده از این ابزارها،

گزینه‌های موردنظر از بین بیشمار حالت مختلف چیدمان رویکردهای غیرمتمرکز انتخاب می‌شوند. هدف، ایمن کردن رفتار هیدرولیکی سیستم رواناب است، در حالی‌که همزمان به اهداف کیفیت آب و به راه‌حل‌های کم‌هزینه دست یابد. اگرچه تحلیل اقتصادی به ندرت در مدلسازی رواناب شامل می‌شود، Zoppou [۷۹] به چگونگی گسترش ارزیابی مدیریت رولناب در اثر ترکیب گزینه‌های مختلف تحلیل‌های اقتصادی با مدلسازی رواناب، اشاره می‌کند. در نتیجه، از این طریق هزینه‌های مختلف، از جمله هزینه‌های طراحی، ساخت، نگهداری، جایگزینی، دفع و تملک زمین، تشخیص و کمی می‌شوند [۸۰]. تقریبا، اکثر مدل‌های مدیریت رواناب، شامل زهکشی می‌شوند، اما آنچه در توسعه پایدار اهمیت دارد، استفاده از مدل‌هایی است که به رواناب به‌عنوان منبعی نگاه شود که می‌تواند جذب (تغذیه آبخوان) و یا به‌صورت مجدد استفاده شود.

پیچیدگی در مدل‌های رولناب از مدل‌های ساده یکپارچه تا مدل‌های توزیع‌یافته مکانی متغیر است. مدل‌های یکپارچه برای تخمین‌های اولیه رفتار حوضه آبریز مفید هستند اما برای تحلیل هر *LID* کوچک مقیاس منفرد و تأثیرات آنها بر دینامیک جریان خیلی مناسب نیستند [۸۰]. توصیف سیستم‌های مدیریت رواناب توزیع‌یافته (برای مثال رویکردهای مختلف *LID*) نیاز به توصیف مکانی منطقه موردمطالعه دارد که به‌اندازه کافی برای رویکردهای LID منفرد دقیق باشد [۸۱]. اگر توصیف رفتار واقعی جریان و بار آلودگی در یک *LID* منفرد لازم باشد، پیچیدگی بیشتر مدل نیاز خواهد بود.

مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رواناب وجود دارند [۸۰]. از میان آن‌ها، *HSPF*، *STORM*، *SUSTAIN* و *SWMM* از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل ها می باشند. Holt و همکاران [۸۰] مقایسه‌ای بین این مدل‌ها، براساس نوع دسترسی، مقیاس زمانی مدلسازی، توصیف مکانی و توصیف *LID* ها، انجام داده‌اند (جدول ۱۲ در [۸۰]). براساس این مقایسه، دو مدل *SWMM* و *SUSTAIN*، با داشتن دسترسی عمومی، توصیف مکانی توزیع یافته و قابلیت بررسی همه نوع *LID*، را می‌توان جامع‌تر از بقیه به‌حساب آورد.

مدل *SUSTAIN*، که با تلاش *EPA* (آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا) توسعه یافته است، ابزاری برای ارزیابی، انتخاب، و جایگذاری *BMP*ها در حوضه آبخیز شهری می‌باشد [۷۷]. یکی از قابلیت های *SUSTAIN* ارزیابی رویکردهای مدیریتی در چندین مقیاس، از کاربردهای محلی تا حوضه آبخیز، است.

مدل *SWMM* پیچیدگی کمتری نسبت به *SUSTAIN* دارد. این مدل به‌منظور شبیه‌سازی مدیریتی و پیش‌بینی کمی و کیفی مرتبط با شبکه های مرکب تهیه شده است. درعین‌حال، از این مدل عملاً در کلیه زمینه‌های زهکشی، اعم از طراحی ساده سامانه جمع‌آوری تا تحلیل‌های پیچیده هیدرولیکی و مطالعات کیفی جریان، استفاده شده است. این مدل تحلیل اقتصادی نیز انجام می‌دهد. مدل *SWMM* در ارزیابی و شبیه‌سازی سیستم‌های رواناب شهری عملکرد خوبی نشان داده است (برای مثال، [۸۲]).

داده‌های موردنیاز برای این مدل بسیار گسترده و مشتمل بر داده‌های فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، مشخصات مربوط به سازه‌های سامانه، اطلاعات مربوط به نگهداری سامانه، شدت دبی در دوره‌های خشک، وضعیت نقاط تخلیه، آمار و اطلاعات مربوط به بارندگی، هیدروگراف‌های سیلاب‌ها و وضعیت کیفی جریان در مسیل‌ها است.

مطالعات زیادی با استفاده از مدل SWMM به بررسی رواناب و روش‌های نوین مدیریت رواناب پرداخته‌اند. برای مثال، با استفاده از مدل *SWMM* و تحلیل حساسیت، نشان داده شده است که استفاده از سامانه‌های روباز برای کاهش مقدار دبی اوج رواناب و جلوگیری از سیلاب، تأثیر بیشتری نسبت به سامانه‌های بسته دارد [۸۳]. در مطالعه Kim و همکاران [۸۴]، روش‌های توسعه کم اثر در منطقه صنعتی *Cheongju* در کره جنوبی مورد بررسی قرار گرفتند و انواع *LID* با استفاده از مدل بارش-رواناب *SWMM* ارزیابی شدند. نتایج آنها نشان داد که همه روش‌های *LID* مورد مطالعه عملکرد مناسبی برای کاهش رواناب داشتند، بااین‌حال، روش بشکه‌های باران دارای کمترین اثر بود.

۶- تجارب ایران در به کارگیری مدیریت غیرمتمرکز رواناب شهری

با توجه به پذیرش جهانی رویکرد غیرمتمرکز مدیریت رولناب سطحی شهری و اهمیت آن در دستیابی به توسعه پایدار در

کلانشهرها، این رویکردها و تجارب جهانی آن ها، در ایران نیز، مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان کنترل رواناب سطحی شهری قرار گرفته است. برای نمونه، به بررسی این موضوع در طرح جامع آب‌های سطحی شهرداری تهران و همچنین، در گزارشات تهیه شده در سطوح دانشگاهی می‌توان اشاره کرد. در همین راستا، مطالعاتی در زمینه مدل‌سازی این رویکردها، در فاز پژوهشی/آزمایشگاهی در کشور انجام شده است (برای مثال [۸۵-۸۷]). یکی از این مطالعات در ایران [۸۵] کارایی یک روسازی نفوذپذیر را تحت بارگذاری رسوب در شهر تهران، در طول عمر عملیات روسازی، مورد آزمایش و ارزیابی قرار داد. علاوه بر این، عملکرد این روسازی‌ها را در حذف کل جامدات معلق (*TSS*) و آلاینده‌های انتخابی مواد مغذی (مانند *N-NO3*، *N-NH4+* و *P-PO4-3*) از رواناب سطحی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که ۲۰ درصد کاهش در هدایت هیدرولیکی روسازی نفوذپذیر پس از سه سال هیدرولوژیکی رخ داده است و روسازی‌های نفوذپذیر به ترتیب ۱۰۰٪، ۲۳٪ و ۵۹٪ بازده در حذف رسوب (*TSS*)، حذف *P-PO4-3* و *N-NH4+* در طول کل مطالعه داشته است.

همچنین، با استفاده از روش‌های نوین مدیریتی شامل ترانشه‌های نفوذ، باغچه باران‌زاد و روسازی‌های نفوذپذیر و با استفاده از مدل‌سازی در SWMM، به مدیریت خطرپذیری سیلاب شهری در منطقه ۲۲ تهران پرداخته شد [۸۶]. بر اساس نتایج مدل‌سازی، باغچه باران‌زاد ۱۰ درصد بیش‌تر از ترانشه‌های نفوذ و ۲۱ درصد بیش‌تر از روسازی‌های نفوذپذیر در کاهش دبی اوج تأثیرگذار بودند و استفاده بهینه از ترکیب این سه روش نوین، منجر به کاهش قابل ملاحظه و مؤثر دبی اوج شد.

تأثیر به‌کارگیری رویکردهای جوی‌باغچه و روسازی نفوذپذیر در کاهش بار آلودگی رواناب در بخشی از منطقه ۱۰ تهران، توسط بینش و همکاران [۸۸]، بررسی شد. براساس نتایج آنها روسازی نفوذپذیر عملکرد بهتری در کاهش دبی اوج سیلاب و حذف آلودگی و جوی‌باغچه کارایی مناسب‌تری در کاهش زمان فروکش سیلاب داشته است، اما در کل، ترکیب این دو راهکار مدیریتی بهترین گزینه در اکثر سناریوها تشخیص داده شد. رجب‌نژاد [۸۷] با مدل‌سازی در نرم‌افزار *SWMM*، رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری (*LID/BMP*) را، از نظر کارآمدی کیفی و کمی رولناب، با استفاده از سناریوهای بام سبز، ترانشه نفوذ، روکش نفوذپذیر و سناریو ترکیبی (روکش نفوذپذیر به همراه ترانشه نفوذ)، در پردیسان قم، بررسی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که سناریو ترکیبی بهترین کارآمدی را در کاهش آلایندگی و دبی اوج رواناب داشته و سناریو بام سبز کم‌ترین بازده را در کاهش آلودگی دارد.

برای بخشی از منطقهٔ ۱۳ شهر تهران، تحلیل آب‌گرفتگی معابر شهری و کارایی وضع موجود شبکه، به‌کمک مدل *SWMM*، انجام شده است [۸۹]. با مقایسهٔ نتایج حاصل از اجرای مدل در وضع موجود و با به‌کارگیری *LID* نشان داده شد که به‌کارگیری رویکردهای نوین، می‌تواند آثار منفی سیلاب‌های با دورهٔ بازگشت کوچک را تا حدود ۴۰ درصد کاهش دهد.

با هدف کاهش آب‌گرفتگی و استفاده از روش‌های توسعه کم اثر، به مدیریت سیلاب شهری در قسمتی از منطقه ۲ شهرداری تبریز با استفاده از نرم‌افزار *SWMM* پرداخته شد [۸۵]. در این پژوهش، تاثیر ترانشه نفوذ و روسازی متخلخل بر دبی اوج سیلاب ارزیابی شد. نتایج نشان داد که استفاده از ترانشه نفوذ به عنوان بهترین راه‌کار مدیریتی بیشترین اثر را در کاهش دبی اوج هیدروگراف سیل خروجی دارد. Arjenaki و همکاران [۹۰] با استفاده از مدل *SWMM* و اعمال رویکردهای مدیریتی مختلف، بهترین راهکار برای کاهش مقدار اوج رواناب در شهرکرد را شناسایی کردند. نتایج این مدل‌سازی مزایای بهره‌گیری از مدیریت سبز را تایید کرد. نظری و همکاران [۹۱] از چارچوب ترکیبی *SUSTAIN*، *SWMM* و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای بهینه‌کردن ویژگی‌ها، هزینه‌ها و مؤثربودن *LID*ها استفاده کرده‌اند.

در بخش دانشگاهی نیز، پایان‌نامه‌های زیادی در زمینه مدیریت رولناب سطحی انجام شده‌است که در ادامه به چند مورد از جدیدترین‌آنها اشاره می‌شود.

نعیمی [۹۲] در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با بررسی بهترین شیوه‌های مدیریتی رولناب سطحی در سطح شهر، مناسب‌ترین روش‌ها را، با توجه به عملکرد آن‌ها در جهت حفظ و تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی و نیز سازگاری با کلانشهر اصفهان، انتخاب و پس از آن با جمع‌آوری داده‌های بلندمدت بارش و برخی مشخصات حوضه، اقدام به مدل‌سازی رواناب سطحی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با تغذیه رواناب‌ها به آب زیرزمینی، در صورت

استفاده از شیوه‌های مدیریتی نوین، علاوه بر کمک به چرخه‌ی طبیعی هیدرولوژیکی، به دلیل پراکندگی و مقیاس کوچکتر نسبت به شیوه‌های مرسوم، ابعاد تأسیسات هیدرولیکی جمع‌آوری آب‌های سطحی کوچک‌تر شده و بدین ترتیب، بهره‌برداری از آن‌ها ساده‌تر و اقتصادی‌تر می‌گردد.

ولی‌پور [۹۳] در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به طراحی روسازی نفوذپذیر و مدیریت رواناب شهری در شهر خرم‌آباد پرداخته است. در این پژوهش، با مدل‌سازی حجم رواناب سطحی و ارزیابی خروجی‌ها، راهکارهای متفاوت در زمینه روسازی نفوذپذیر و جذب رواناب‌ها ارائه شد.

فروتن‌دانش [۸۲] در پایان‌نامه دکترای خود به ارزیابی اثرات اجرای روش‌های توسعه کم‌اثر و بهترین رویکردهای مدیریتی بر کمیت و کیفیت رواناب شهری در شهر گرگان پرداخته است. او بیان می‌کند که نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل *SWMM* نشان می‌دهد که این مدل دقت مورد نیاز برای شبیه سازی رواناب شهری را دارد.

احمدی [۹۴] در پایان نامه خود از الگوریتم فرا ابتکاری برای بهینه‌سازی مدیریت کمی و کیفی رواناب در غرب شهر مشهد استفاده کرد. نتایج نشان داد که با انتخاب نوع، اندازه و موقعیت *LID* های بهینه، سیلاب ناشی از بارش های با دوره بازگشت ۵۰ ساله مهار خواهد شد و پس از تصفیه جهت استفاده های آتی ذخیره می گردد.

به غیر از مطالعات پژوهشی و آزمایشگاهی، تاکنون در ایران پروژه عملیات گسترده در خصوص پیاده سازی رویکردهای مدیریت غیر متمرکز رواناب سطحی شهری اجرا نشده است.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

توسعه ساختاری برای مدیریت بهینه و غیرمتمرکز رواناب‌های شهری، علاوه بر درنظر گرفتن کاهش خسارات وارد به سامانه در شرایط سیلابی، امکان بیشینه‌سازی پتانسیل ذخیره این منابع، از طریق نفوذ و تغذیه منابع آب زیرزمینی را، نیز، با در نظر گرفتن پارامترهای کیفی، فراهم می‌کند. همچنین، با کاهش میزان رواناب خروجی از حوضه و افزایش میزان نگهداشت آن درون حوضه می‌توان از رواناب بازیافتی در مصارف غیر شرب استفاده کرد. این اقدام موجب می‌شود بخش زیادی از چاه‌های آب از چرخه تأمین آب فضای سبز و خدمات عمومی شهری منطقه حذف شوند. هدف اصلی استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر و زیرساخت‌های سبز مدیریت رواناب شهری، کاهش تخریب‌های محیط‌زیستی در مناطق شهری می‌باشد. این اقدامات کنترل‌کننده‌های هیدرولوژیکی کوچک مقیاس را برای بازگردانی حوضه آبخیز به رژیم هیدرولوژیکی قبل از توسعه (به واسطه نفوذ، تصفیه، ذخیره، تبخیر و نگهداشت رواناب در نزدیکی به منبع تولید آن) شامل می‌شوند. درواقع، اقدامات توسعه کم اثر می‌توانند باعث میرایی آلودگی، کاهش حجم جریان و کاهش دبی اوج شوند.

در این پژوهش، با معرفی هریک از روش‌های نوین مدیریت رولناب‌های سطحی، از جمله بام سبز، جوی‌باغچه‌ها، تالاب‌های مصنوعی و روسازی نفوذپذیر، به مزایا و معایب هریک از روش‌های فوق اشاره نموده و شرایط استفاده از آن‌ها به اختصار توضیح داده شد.

مروری بر روش‌های مختلف توسعه کم‌اثر در زمینه مدیریت رواناب شهری نشان می‌دهد که هرکدام از این روش‌ها، اثرات متفاوتی بر رواناب دارند. برخی از آن‌ها (مانند حوضچه‌های ذخیره و نگهداشت موقت یا دائمی سیلاب) در کاهش حجم یا دبی اوج رواناب و در نتیجه، کاهش بار هیدرولوژیک شبکه و کاهش ابعاد سامانه زهکشی مؤثر هستند

بررسی تجربیات جهانی در این زمینه نشان می‌دهد که به‌طور کلی، هیچ‌یک از بهترین راهکارهای مدیریتی و یا رویکردهای توسعه کم‌اثر نمی‌توانند به‌تنهایی تمام اهداف مدیریت رولناب را برآورده کنند و اجرای ترکیبی آن‌ها به نتایج بهتری در مدیریت رولناب شهری منجر خواهد شد. بررسی سناریوهای مختلف ترکیب روش‌های توسعه کم‌اثر با استفاده از مدل‌سازی، برای انتخاب مؤثرترین و اقتصادی‌ترین سناریو، با توجه به ویژگی‌های منطقه مطالعاتی، ضروری است. *SWMM* و *SUSTAIN* از جمله روش‌های مدل‌سازی پرکاربرد در این زمینه می‌باشند.

با مطالعات بر روی تجارب مطالعاتی و عملی کشورهای پیش‌رو، امکان‌سنجی کاربست این رویکردها در کلانشهرهای کشور و شرایط بهینه اجرای هرکدام از رویکردها تعیین می‌شود. تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان مدیریت شهری می‌توانند از نتایج این پژوهش در جهت

بکارگیری این رویکردها در شـهرهای ایران، به خصـوص کلان‌شـهر تهران، بهره‌برداری نمایند.

در نهایت، استفاده از انواع روش‌های *LID* و *BMP* در هر منطقه می باید مبتنی بر رعایت کلیه اصول و ضوابط فنی مرتبط با طراحی، اجرا، نگهداری و بهره‌برداری از آن‌ها باشد. در این زمینه بررسی دستورالعمل‌های مناطق مختلف جهان می‌تواند کمک‌کننده باشد، اما، بررسی‌های بومی و محلی برای ارزیابی کارآیی رویکردهای مورد بحث، به ویژه از نظر کاهش انواع آلاینده‌های موجود در رواناب ورودی به تاسیسات، باید انجام پذیرد.

۸- تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۹- قدردانی

پژوهش حاضر، نتیجه پروژه تحقیقاتی مصوب مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران، با شماره ۱۳۷/۳۹۲۸۹۹، می‌باشد. از مدیران و کارشناسان محترم این مرکز کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

۱۰- منابع

[۱] Pakbaz, Hamid; Pirmoradian, Milad (۲۰۱۲). Investigation on the Quality of Rainfall-Induced Runoffs in Watersheds. Proceedings of the First Conference on Iran's Reservoirs [In Persian]. https://ircsa.ir/files/site۱/maghalate_hamayesh/۵۰.pdf

[۲] Ardeshir, A (۲۰۱۶). Management of Surface Water Collection System and Urban Flood Control. AmirKabir University of Technology Publications, First Edition, page ۲۳۰ [In Persian]. http://publication.aut.ac.ir/fa/book/show/۵۱۹۲

[۳] Wang, Y., (۲۰۱۵). A diagnostic decision support system for selecting best management practices in urban/suburban watersheds. Ph.D. thesis, University of Maryland, ۳۰۱ P.

[۴] Helmrich, A., Markolf, S., Li, R., Carvalhaes, T., Kim, Y., Bondank,E., Natarajan, M,, Ahmad, N., & Chester, M., (۲۰۲۱). Centralization and decentralization for resilient infrastructure and complexity. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability, ۱(۲), ۰۲۱۰۰۱. https://doi.org/۱۰.۱۰۸۸/۲۶۳۴-۴۵۰۵/ac۰a۴f.

[۵] Taylor, A., Wong, T., (۲۰۰۲). Non-structural Stormwater Quality Best Management Practices – an Overview of their Use, Value, Cost and Evaluation. C ooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Technical Report ۰۲/۱۱.

[۶] NZWERF, (۲۰۰۴). On-Site Stormwater Management Guideline. New Zealand Water Environment Research Foundation.

[۷] Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Viklander, M. (۲۰۱۵). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban water journal, ۱۲(۷), ۵۲۵-۵۴۲. DOI:۱۰,۱۰۸۰/۱۵۷۳۰۶۲X.۲۰۱۴,۹۱۶۳۱۴

[۸] Seo, M., Jaber, F., Srinivasan, R. and Jeong, J. (۲۰۱۷). Evaluating the Impact of Low Impact Development (LID) Practices on Water Quantity and Quality under Different Development Designs Using SWAT. Water, ۱۹۳(۹), ۱۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۹۰۳۰۱۹۳

[۹] Michael, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, SB. And Djordjevic, S. (۲۰۰۴). Potential and limitations of LID modelling of urban flooding. Journal of Hydrology, ۲۹۹,۲۸۴-۲۹۹. DOI:۱۰,۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۰۴,۰۸,۰۱۴

[۱۰] Chen , J., Liu, Y., Gitau, M. W.,Engel, B. A., Flanagan, D.C., & Harbor, J. M.(۲۰۱۹). Evaluation of the effectiveness of green infrastructure on hydrology and water quality in a combined sewer overflow community.Science of the Total Environment, ۶۶۵, ۶۹-۷۹. □□□:۱۰.۱۰۱۶/□.□□□□□□□□□.۲۰۱۹.۰۱.۴۱۶.

[۱۱] Reid, M., (۱۹۸۲). Lessons of History in the Design and Acceptance of Rainwater Cistern Systems. In: Proceedings of the International Conference on Rainwater Catchment Systems, F.N. Fujimura (Editor). International Rainwater Catchment Systems Association, Honolulu, Hawaii, pp. ۱-۸.

[۱۲] Glendenning, C.J. and Vervoort, R.W. (۲۰۱۰). Hydrological Impacts of Rainwater Harvesting (RWH) in a Case Study Catchment: The Arvari River, Rajasthan, India. Part ۱: Field-Scale Impacts.

[۱۳] Agricultural Water Management ۹۸(۲):۳۳۱-۳۴۰.[۲۰] Herrmann T., U. Schmida, (۱۹۹۹). Rainwater Utilization in Germany: Efficiency, Dimensioning, Hydraulic and Environmental Aspects. Urban Water ۱(۴):۳۰۷-۳۱۶.

[۱۴] Nolde, E., (۲۰۰۷). Possibilities of Rainwater Utilisation in Densely Populated Areas Including Precipitation Runoffs From Traffic Surfaces. Desalination ۲۱۵(۱-۳):۱-۱۱.

[۱۵] Furumai, H., (۲۰۰۸). Rainwater and Reclaimed Wastewater for Sustainable Urban Water Use. Physics and Chemistry of the Earth ۳۳(۵):۳۴۰-۳۴۶

[۱۶] https://santacruzpermaculture.com/۲۰۱۹/۰۶/rainwater-harvesting-tanks-cisterns/

[۱۷] Hosseini, S. H. (۲۰۱۵). Utilizing Low-Impact Development (LID) Method in Urban Runoff

Contaminants from Urban Stormwater. Environmental Monitoring and Assessment ۱۰۱: ۲۳–۳۸.

[۳۰] Lee, J.G., Borst, M., Brown, R.A., Rossman, L., Simon, M.A., ۲۰۱۴. Modeling the hydrologic processes of a permeable pavement system. J. Hydrol. Eng. ۲۰ (۵), ۰۴۰۱۴۰۷۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۶۱/(ASCE)HE.۱۹۴۳-۵۵۸۴,۰۰۰۱۰۸۸.

[۳۱] https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Infiltration_Trench:_Life_Cycle_Costs

[۳۲] Kratky, H., Li, Z., Chen, Y., Wang, C., Li, X. and Yu, T., ۲۰۱۷. A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations. Frontiers of Environmental Science & Engineering, ۱۱, pp.۱-۱۵.

[۳۳] https://www.deeproot.com/blog/blog-entries/۳-questions-about-bioretention-soils-and-infiltration/

[۳۴] Damodaram, Chandana, Marcio H. Giacomoni, C. Prakash Khedun, Hillary Holmes, Andrea Ryan, William Saour, and Emily M. Zechman. "Simulation of combined best management practices and low impact development for sustainable stormwater management ۱." JAWRA Journal of the American Water Resources Association ۴۶, no. ۵ (۲۰۱۰): ۹۰۷-۹۱۸.

[۳۵] Mahab Qhods Consulting Engineering Company (۲۰۱۱). Comprehensive Plan for Surface Water Management in Tehran, Volume Eight, Modern Approach (LID/BMP Techniques). Technical and Engineering Consultancy Organization of Tehran Municipality, Technical and Civil Deputy [In Persian].

[۳۶] Tang, S., Jia, Z., Xu, Q., Luo, W. and Shan, Z., ۲۰۲۰. Examining the first flush effect based on the relationship between concentrations and discharge rates in a rain garden inflow. DESALINATION AND WATER TREATMENT, ۱۸۰, pp.۱۷۴-۱۸۴.

[۳۷] Vijayaraghavan, K., Kumar Biswal, B., Adam, M. G., Hong Soh, H., Lee Tsen-Tieng, D., Davis, A. P., Chew, S., H., Tan, P.Y., Babovic, V., Balasubramanian, R., ۲۰۲۱. Bioretention systems for stormwater management: Recent advances and future prospects, Journal of Environmental Management, ۲۹۲, ۱۱۲۷۶۶.

[۳۸] Hsieh, C.-h., Davis, A.P., ۲۰۰۵. Evaluation and optimization of bioretention media for treatment of urban storm water runoff. J. Environ. Eng. ۱۳۱ (۱۱), ۱۵۲۱–۱۵۳۱.

[۳۹] Fassman-Beck, E., Wang, S., Simcock, R., Liu, R., ۲۰۱۵. Assessing the effects of bioretention's engineered media composition and compaction on hydraulic conductivity and water holding capacity. J. Sustain. Water Built Environ. ۱ (۴), ۰۴۰۱۵۰۰۳.

[۴۰] Hunt, W.F., Hathaway, J.M., Winston, R.J., Jadlocki, S.J., ۲۰۱۰. Runoff volume reduction by a level Management to Reduce Urban Costs with an Emphasis on Tehran. International Conference on Advances in Civil Engineering, Architecture, Environmental Engineering, and Urban Management, Tehran.[Online]Available:https://civilica.com/doc/۳۸۹۵۶۶ CAECONF۰۱_۰۳۳ [In Persian].

[۱۸] Barrett, M., ۲۰۱۵. International Low Impact Development Conference ۲۰۱۵. American Society of CivilEngineers/ASCE.http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۶۱/۹۷۸۰۷۸۴۴۷۹۰۲۵

[۱۹] Steffen J., Jensen, M., Pomeroy, C. A., Burian, S. J., (۲۰۱۳). Water Supply and Stormwater Management Benefits of Residential Rainwater Harvesting In U.S. Cities. Journal of the American Water Resources Association ۴۹ (۴), ۸۱۰-۸۲۴.

[۲۱] https://www.usace.army.mil/Media/Images/igphoto/۲۰۰۰۷۵۸۵۶۶/

[۲۰] Alyaseri, I., Zhou, J., ۲۰۱۶. Stormwater volume reductionin combined sewer using permeable pavement: city of St. Louis. J. Environ. Eng. ۱۴۲ (۴), ۹. https://doi.org/۱۰.۱۰۶۱/(ASCE)EE.۱۹۴۳-۷۸۷۰.۰۰۰۱۰۵۶.

[۲۳] Selbig WR, Buer N, Danz ME., (۲۰۱۹). Stormwater-quality performance of lined permeable pavement systems. J Environ Manage. ۱, ۲۵۱:۱۰۹۵۱۰. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.jenvman.۲۰۱۹.۱۰۹۵۱۰. Epub ۲۰۱۹ Sep ۲۵. PMID: ۳۱۵۶۳۰۵۱.

[۲۴] Cheng Y.Y., Lo, S. L., Ho, C. C., Lin, J. Y., Yu, S. L., (۲۰۱۹). Field Testing of Porous Pavement Performance on Runoff and Temperature Control in Taipei City. Water ۲۰۱۹, ۱۱ (۱۲), ۲۶۳۵; https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/w۱۱۱۲۲۶۳۵.

[۲۵] Stagge, J.H., Davis, A.P., Jamil, E. and Kim, H., ۲۰۱۲. Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. Water research, ۴۶(۲۰), pp.۶۷۳۱-۶۷۴۲.

[۲۶] Gavrić, S., Leonhardt, G., Marsalek, J., Viklander, M., (۲۰۱۹). Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings. Science of the Total Environment ۶۶۹, ۴۳۱-۴۴۷.

[۲۷] MDE, Maryland Department of the Environment, (۲۰۰۹). ۲۰۰۰ Maryland stormwater design manual Volumes I & II.

[۲۸] NHDES, (New Hampshire Department of Environmental Services) (۲۰۱۱). Pollutant removal efficiencies for best management practices for use in pollutant loading analysis.

[۲۹] Birch, G. F., Fazeli, M. S., Matthai, C., (۲۰۰۵). Efficiency of an Infiltration Basin in Removing

[۵۰] Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, Ch., Bray, R., Shaffer, P., ۲۰۰۷. The SUDS manual (C۶۹۷),CIRIA. http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C۷۵۳-the-SuDS-manual-v۶.pdf

[۵۱] Vishwakarma, S., & Dharmendra, D. (۲۰۲۴). Evaluating Domestic Wastewater Treatment Efficiency of Field Scale Hybrid Flow Constructed Wetland in Series. Pollution, ۱۰ (۱), ۳۹۲-۴۰۳. https://doi.org/۱۰,۲۲۰۵۹/POLL.۲۰۲۳,۳۶۴۳۳۹,۲۰۴۱

[۵۲] https://waterprojectsonline/custom_case_study/clifton-icw-۲۰۲۲/

[۵۳] Shafique, M.; Kim, R.; Lee, D. The Potential of Green-Blue Roof to Manage Storm Water in Urban Areas. Nat. Environ. Pollut. Technol. ۲۰۱۶, ۱۵, ۷۱۵–۷۱۹.

[۵۴]. Morgan, S.; Celik, S.; Retzlaff, W. Green roof storm-water runoff quantity and quality. J. Environ. Eng. ۲۰۱۲, ۱۳۹, ۴۷۱□۴۷۸.

[۵۵] Getter, K.L.; Rowe, D.B.; Andresen, J.A. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. Ecol. Eng. ۲۰۰۷, ۳۱, ۲۲۵–۲۳۱.

[۵۶] Vijayaraghavan K. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renew Sustain Energy Rev ۲۰۱۶;۵۷:۷۴۰–۵۲.

[۵۷] Shafique, M., Kim, R., Kyung-Ho, K., ۲۰۱۸. Green Roof for Stormwater Management in a Highly Urbanized Area: The Case of Seoul, Korea. Sustainability ۲۰۱۸, ۱۰, ۵۸۴; doi:۱۰,۳۳۹۰/su۱۰۰۳۰۵۸۴

[۵۸] Stovin, V.; Vesuviano, G.; Kasmin, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. J. Hydrol. ۲۰۱۲, ۴۱۴, ۱۴۸–۱۶۱.

[۵۹] Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P.S., Arnbjerg-Nielsen, K., Wong, T., Binning, P.J. (۲۰۱۵) Determining the extent of groundwater interference on the performance of infiltration trenches. J. Hydrol., ۵۲۹, ۱۳۶۰ □۱۳۷۲. DOI:۱۰,۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۵,۰۸,۰۴۷.

[۶۰] Copeland, C. (۲۰۱۶). Green Infrastructure and Issues in Managing Urban Stormwater. Congressional Research Service۷-۵۷۰۰ R۴۳۱۳۱ www.crs.gov

[۶۱] EPA, (۲۰۱۷). Clean Water Act Methods Update Rule for the Analysis of Effluent. U.S. Environmental Protection Agency (EPA-HQ-OW-۲۰۱۴-۰۷۹۷, FRL-۹۹۵۷-۲۴-OW).

[۶۲] Marks, A.A.C., ۲۰۱۴. Stormwater management in Boston: to what extent are demonstration projects likely to enable citywide use of green infrastructure? (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

spreader-vegetated filter strip system in suburban Charlotte, N. C. J. Hydrol. Eng. ۱۵ (۶), ۴۹۹–۵۰۳.

[۴۱] Roy-Poirier, A., Champagne, P., Filion, Y., ۲۰۱۰. Review of bioretention system research and design: past, present, and future. J. Environ. Eng. ۱۳۶ (۹), ۸۷۸–۸۸۹.

[۴۲] Goh, H.W., Lem, K.S., Azizan, N.A., Chang, C.K., Talei, A., Leow, C.S., Zakaria, N.A., ۲۰۱۹. A review of bioretention components and nutrient removal under different climates—future directions for tropics. Environ. Sci. Pollut. Control Ser. ۲۶ (۱۵), ۱۴۹۰۴–۱۴۹۱۹.

[۴۳] Vijayaraghavan, K., Kumar Biswal, B., Adam, M. G., Hong Soh, H., Lee Tsen-Tieng, D., Davis, A. P., Chew, S., H., Tan, P.Y., Babovic, V., Balasubramanian, R., ۲۰۲۱. Bioretention systems for stormwater management: Recent advances and future prospects, Journal of Environmental Management, ۲۹۲, ۱۱۲۷۶۶.

[۴۴] Wang, J., Chua, L.H.C., Shanahan, P., ۲۰۱۷a. Evaluation of pollutant removal efficiency of a bioretention basin and implications for stormwater management in tropical cities. Environ. Sci. Water Res. Technol. ۳, ۷۸–۹۱.

[۴۵] https://www.wake.gov/departments-government/water-quality-programs/watershed-management-erosion-sedimentation-control-floodplain-and-stormwater-management/stormwater-plan-review-and-permitting/stormwater-control-measures

[۴۶] Livingston, E. H., Shaver, E., Skupien, J.J., Horner, RR., (۱۹۹۷). Operation, Maintenance, and management of Stormwater Management Systems"; Watershed Management Institute,Inc;August ۱۹۹۷. https://stormwater.ucf.edu/wp-content/uploads/۲۰۱۴/۰۹/stormwaterOMM.pdf

[۴۷] Fortunato , C., , McDonough, O., Chambers, R., ۲۰۱۲. The Effectiveness of Dry and Wet Stormwater Detention Basins asSediment and Nutrient Processors. Managing Watersheds for Human and Natural Impacts: Engineering, Ecological, and Economic Challenges.

[۴۸] Ivanovsky, A., Belles, A., Criquet, J., Dumoulin, D., Noble, P., Alary, C., Billon, G., ۲۰۱۸. Assessment of the treatment efficiency of an urban stormwater pond and its impact on the natural downstream watercourse. J. Environ. Manag. ۲۲۶, ۱۲۰e۱۳۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.jenvman.۲۰۱۸,۰۸,۰۱۵.

[۴۹] Nayeb Yazdi, Scott, D., Sample, D. J., Wang, X., ۲۰۲۱. Efficacy of a retention pond in treating stormwater nutrients and sediment. Journal of Cleaner Production ۲۹۰ (۲۰۲۱) ۱۲۵۷۸۷. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.jclepro.۲۰۲۱,۱۲۵۷۸۷.

Pacific, ۱۲e۱۳ December ۲۰۱۳, Bangkok, Thailand.http://www.unescap.org/sites/default/files/۳. ۲٪۲۰Japan_Imbe.pdf.

[۷۴] Lee, J.G., Selvakumar, A.,, Alvi, Kh., Riverson, J., Zhen, J.X., Shoemaker, L., Lai, F., (۲۰۱۲). A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. Environmental Modelling&Software۳۷,۶e۱۸.DOI:۱۰,۱۰۱۶/j.envsoft. ۲۰۱۲,۰۴,۰۱۱

[۷۵] Mosleh, L., Negahban-Azar, M., (۲۰۲۱). Role of Models in the Decision-Making Process in Integrated Urban Water Management: A Review. Water ۲۰۲۱, ۱۳(۹), ۱۲۵۲. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۰۹۱۲۵۲

[۷۶] Jia, H. F., Lu, Y. W., Zhen, X., & Yu, S. L. (۲۰۱۲). Planning of LID-BMPs for urban runoff control: the case of Beijing Olympic village. Separation and Purification Technology, ۸۴, ۱۱۲–۱۱۹. DOI:۱۰,۱۰۱۶/j.seppur.۲۰۱۱,۰۴,۰۲۶

[۷۷] Shoemaker, L., Riverson,J., Khalid, A., Zhen, J., Sabu, P., Rafi, T., (۲۰۰۹). SUSTAIN, a framework for placement of best management practices in urban watersheds to protect water quality. Report EPA/۶۰۰/R-۰۹/۰۹۵, USEPA, Washington, DC, USA. https://www.epa.gov/sites/default/files/۲۰۱۵-۱۰/documents/sustain_complex_tools.pdf

[۷۸] Jia, H., Yao, H., Tang, Y., Yu, S.L., Zhen, J.X., Lu, Y., ۲۰۱۳. Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection. Environ Monit Assess (۲۰۱۳) ۱۸۵:۷۹۱۵–۷۹۳; DOI ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۶۶۱–۰۱۳–۳۱۴۴–۰. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۶۶۱–۰۱۳–۳۱۴۴–۰

[۷۹] Zoppou, C. ۲۰۰۱. Review of urban storm water models. Environmental Modelling & Software, ۱۶(۳): ۱۹۵–۲۳۱.

[۸۰] Holt, E., Koivusalo, H., Korkealaakso, J., Sillanpää, N., Wendling, L., ۲۰۱۸. Filtration Systems for Stormwater Quantity and Quality Management, Guideline for Finnish Implementation. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, ۹۵p.

[۸۱] Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Setälä, H. & Koivusalo, H. ۲۰۱۴. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. Journal of Hydrology, ۵۱۲: ۴۸۲–۴۹۷.

[۸۲] ForutanDanesh, ۲۰۲۱. Quantity and Quality Evaluation of Urban Runoff based on Best Management Practices Low-Impact Development (BMPs/LID) in Gorgan. Ph.D thesis of watershed management. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University Faculty of Natural Resources, [in Persian].

[۸۳] Choi, Sumin, Seongsim Yoon, Byongju Lee, and Youngjean Choi (۲۰۱۵). Evaluation of high-resolution

[۶۳] Kayhanian, M., & Stenstrom, M. K. (۲۰۰۵). Mass loading of first flush pollutants with treatment strategy simulations. Transportation Research Record, ۱۹۰۴, ۱۳۳–۱۴۳.

[۶۴] Pati, A., & Sahoo, B. (۲۰۲۲). Effect of Low-Impact Development Scenarios on Pluvial Flood Susceptibility in a Scantily Gauged Urban–Peri-Urban Catchment. Journal of Hydrologic Engineering, ۲۷(۱), ۰۵۰۲۱۰۳۴ https://doi.org/۱۰,۱۰۶۱/(ASCE)HE.۱۹۴۳-۵۵۸۴,۰۰۰۲۱۴۷

[۶۵] Ontario Ministry of Environment, (۲۰۰۳). Stormwater Management Planning and Design Manual.

[۶۶] Roseen, R.M., Ballestero, T.P.,Houle, J.J., Avellaneda, P., Briggs,J., Fowler, G., Wildey, R., (۲۰۰۹). Seasonal performance variations for storm-water management systems in cold climate conditions. Journal of Environmental Engineering ASCE ۱۳۵ (۳), ۱۲۸e۱۳۷. DOI:۱۰,۱۰۶۱/(ASCE)۰۷۳۳-۹۳۷۲(۲۰۰۹)۱۳۵:۳(۱۲۸).

[۶۷] EU, (۲۰۱۶).The EU Floods Directive.http://ec.europa.eu/environment/water/ï,ood_risk/implem.html.

[۶۸] Maigne, J., ۲۰۰۶. Sustainable Management of ‘Alternative Techniques’ in Stormwater Purification. École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (ENGREF - National School of Rural Water and Forestry Engineering). Centre de Montpellier, France. https://www.agroparistech.fr/IMG/doc/Version_finale_anglais_Maigne.doc.

[۶۹] OIEau, (۲۰۱۴). Centre National de Formation aux Métiers de l’Eau (CNFME) e De nouvelles plates-formes pédagogiques dédiées à la gestion intégrée des eauxpluviales(inFrench).http://www.oieau.fr/oieau/notre-actualite-et-avancement-de/article/cnfme-de-nouvelles-plates-formes?lang¼fr.

[۷۰] Schuetze, T., Chelleri,L., ۲۰۱۳. Integrating decentralized rainwater management in urban planning and design: flood resilient and sustainable water management using the example of coastal cities in The Netherlands and Taiwan.Water۵, ۵۹۳e۶۱۶. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۵۰۲۰۵۹۳.

[۷۱] Jeong, H., Kim, H., Teodosio, B., Ramirez, R., Ahn, J., ۲۰۱۵. A review of test beds and performance criteria for permeable pavements. In: Chang, et al. (Eds.), Advances in Civil Engineering and Building Materials IV. Taylor and Francis, London. DOI:۱۰,۱۲۰۱/b۱۸۴۱۵-۵۸.

[۷۲] ARSI, ۲۰۱۶. Association for Rainwater Storage and Infiltration Technology, Japan, Membership. http://arsit.or.jp/membership_list.

[۷۳] Imbe, M., (۲۰۱۳). Stormwater treatment from the road in Japan. In: Regional Workshop on Eco-Efficient Water Infrastructure towards Sustainable Urban Development and Green Economy in Asia and the

QPE data for urban runoff analysis. Journal of Korea Water Resources Association ۴۸, no. ۹ (۲۰۱۵): ۷۱۹-۷۲۸. DOI:۱۰.۳۷۴۱/JKWRA.۲۰۱۵.۴۸.۹.۷۱۹

[۸۴] Kim, J., Lee, J., Song, Y., Han, H., & Joo, J. (۲۰۱۸). Modeling the runoff reduction effect of low impact development installations in an industrial area, South Korea. Water, ۱۰ (۸), ۹۶۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۰۰۸۰۹۶۷

[۸۵] Kamali, M., Tajrishi, M., Nazari Alavi, A. (۲۰۱۲). Investigation of Surface Runoff Characteristics in Tehran.https://civilica.com/doc/۱۶۶۰۹۶. ICCE۰۹_۱۰۲۹ [In Persian].

[۸۶] Taghizadeh, S. (۲۰۱۷). Performance Evaluation and Optimization of Innovative Management Methods (LID-BMP) in Improving the Quality and Quantity of Surface Runoff in Tehran: Case Study of Region ۲۲. Master's Thesis, University of Qom [In Persian]. https://sid.ir/paper/۳۸۱۴۶۰/fa

[۸۷] Rajabnezhad, M. (۲۰۱۷). Utilizing Innovative Methods (LID-BMPs) in Urban Runoff Management with a Focus on Pollution Reduction. Master's Thesis, University of Qom [In Persian]. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/۹۲۰۸bd۲d۹ddda۵۸۷۵cde۸۶۱d۶۰a۷a۶۲۷

[۸۸] Binesh et al., ۲۰۱۵. Investigating the effect of applying the best management practices on the quantity and quality of urbun stormwater. Third National Conference on Flood Management and Engineering with Urban Floods Approach [in Persian].

[۸۹] Movahedinyia, M., Vali Samani, J. M., Barakhshi, F. (۲۰۱۷). Investigating the Effect of Low-Impact Development (LID) Rain Barrel Method on Reducing Urban Flooding. Water and Irrigation Management, ۷(۱),۱-۱۶.DOI:۱۰.۲۲۰۵۹/jwim.۲۰۱۷.۶۳۷۳۶ [InPersian].

[۹۰] Arjenaki, M. O., Sanayei, H. R. Z., Heidarzadeh, H., & Mahabadi, N. A. (۲۰۲۱). Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). Modeling Earth Systems and Environment, ۷(۱), ۱-۱۶. DOI: ۱۰,۱۰۰۷/s۴۰۸۰۸-۰۲۰-۰۰۸۷۰-۲.

[۹۱] Nazari, A., Roozbahani, A., Hashemy Shahdanu, S.M., ۲۰۲۳. Integrated SUSTAIN-SWMM-MCDM Approach for Optimal Selection of LID Practices in Urbun Stormwater Systems. Water Resource Management, ۳۷, ۳۷۶۹-۳۷۹۳.

[۹۲] Naeimi, G., ۱۳۹۴. Integrated Storm Water and Groundwater Management, a Case Study: Isfahan Metropolis. Master thesis, Isfahn Industrial University, Civil Engineering Faculty, [in Persian].

[۹۳] Valipour, J., ۲۰۱۸. Designing Permeable Pavement and Urban Runoff Management (case study: Khorramabad City). Master thesis of Urban Design, Payam Noor University, East Tehran Branch [in Persian].

[۹۴] Ahmadi, H., ۲۰۲۳. Optimization of Runoff Management using Metaheuristic Algorithm. Master thesis of Business Managemen, Mashhad University [in Persian].

ترجمه‌ی شده