محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٤، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٧، صفحهٔ ٧٠١-٦٨٩

طراحی اکولوژیک منظر در مناطق نیمه‌خشک با تأکید بر طراحی شهری حساس به آب (نمونهٔ موردی: شهر مهاجران)

ایمان سعیدی[1]* ، حسن دارابی[2]

۱. گروه مهندسی فضای سبز، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ملایر
۲. گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران darabih@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

چکیده

افزایش شهرنشینی تأثیری عمیق بر ساختارهای اکولوژیک موجود دارد. یکی از مهم‌ترین این مشکلات کم‌آبی است که نمود آن در فضای سبز شهری ملموس است. فضای سبز شهری یکی از قطب‌های مصرف‌کنندهٔ آب در شهرهاست. وابستگی فضای سبز به منابع آب زیرزمینی و شرب در ایران به کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش تقاضا برای آب شرب شهری انجامیده است. از طرف دیگر شهرها با خلق سطوح نفوذناپذیر، هدایت رواناب به خارج از حوزه، منجر به ایجاد سیلاب و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی در فصل بارش می‌شوند. یکی از شهرهایی که همین مشکلات در آن بروز عینی پیدا کرده است، شهر جدید مهاجران است. به نظر می‌رسد طراحی شهری حساس به آب توأم با طراحی اکولوژیک که بر استفاده بهینه از منابع موجود و استفاده مناسب از آن‌ها دارند می‌تواند راهکار مناسبی برای تعدیل اثرات سوء کم‌آبی باشد. در این مطالعه ابتدا منابع و مصارف آب مبتنی بر رویکرد طراحی شهری حساس به آب در شهر مهاجران تحلیل و در ادامه استراتژی_هایی به‌منظور توسعه فضای سبز در چارچوب طراحی اکولوژیک و با استفاده از منابع آب شناسایی شده، ارائه شد. این استراتژی‌ها مشتمل بر استفاده از آب باران و رواناب‌ها، استفاده از آب خاکستری و طراحی کاشت گونه‌های گیاهی مقاوم به تنش کم‌آبی هستند. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد منابع آب غیرمتعارف پتانسیل چشمگیری در جایگزینی با منابع آب زیرزمینی برای آبیاری فضاهای سبز در محدودهٔ مطالعاتی دارند. ازاین‌رو استراتژی‌های توسعهٔ منظر در محدوده با استفاده از بهترین اقدامات مدیریتی از رواناب شهری، ذخیرهٔ آب باران در خانه‌های مسکونی، تصفیهٔ فاضلاب برای توسعه منظر و فضای سبز مقاوم به خشک‌سالی پیشنهاد شد.

کلیدواژه

شهر مهاجران، طراحی اکولوژیک، طراحی شهری حساس به آب، کم‌آبی، منابع آب.

۱. سرآغاز

امروزه شهرها با چالش‌های متنوع و درعین‌حال پیچیده‌ای روبه‌رو هستند که از آن به‌عنوان مسائل نارام[1] یاد می‌شود (Kuller et al. 2017). در این میان برهم کنش تغییرات اقلیمی، آب و محیط شهری و مشکلات مترتب بر آن، بخش چالش‌برانگیز این مسئله را تشکیل می‌دهد (Nokhandan et al., 2011). در مواجهه با مدیریت منابع آب در عرصهٔ شهری رویکردهای متفاوتی مطرح شده است. این موضوع تحت عنوان مدیریت یکپارچهٔ آب شرب در بین مهروموم‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ توسط انجمن مهندسی عمران طرح شد. این مبحث با عنوان توسعه با پیامدهای محدود در آمریکا، نظام زهکشی پایدار در انگلستان، طراحی شهری حساس به آب[2] در استرالیا و نیوزیلند، شهرهای اسنفجی در هلند یا به‌صورت عمومی تحت عنوان زیرساخت‌های سبز- آبی معرفی شده است (Andrew et al., 2012; Kuller et al., 2017; Lottering

* نویسنده مسئول: Email: isaeedi@malayeru.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

et al., 2015; Perini & Sabbion, 2017). هدف اصلی این رویکردها توجه کل گرایانه و یکپارچه به پیامدها و استراتژی‌های مدیریت آب است. هرچند که هنوز تأکید کلیدی بر ابعاد طبیعی مدیریت آب بیش از جنبه‌های دیگر است و به مباحث اجتماعی کمتر توجه شده است (Wong, 2006). مبنای این تفکر تمرکززدایی از منابع آب با رویکردی محلی است. هدف آن عبارت است از: نظام برنامه‌ریزی و طراحی یکپارچه آب، مدیریت حمایت و حفاظت از چرخه‌های آب در محیط شهری توأم با حساسیت مدیریت آب به فرایندهای هیدرولوژیکی، طبیعی و اکولوژیک (Wong, 2006).

رویکرد طراحی شهری حساس به آب در بردارنده دو بعد کلیدی است: بُعد نخست آن‌ها حساسیت به آب تشکیل می‌دهد و بعد دوم را طراحی. در بعد نخست یکپارچه‌سازی مدیریت آب در محیط شهری مد نظر است و در بخش دوم مباحث برنامه‌ریزی و طراحی در پیوند با مدیریت منابع آب مورد توجه است (Wong, 2006). این رویکرد در پی مدیریت دو مسئله متناقض سیلاب/ رواناب و تنش‌های آبی حاصل خشک‌سالی است. به همین دلیل تلاش می‌کند تا با دوری گزینی از رویکردهای منفرد و گسسته، چرخه آب را نظامی چند لایه تصور کرده و آن را در تناسب با شرایط محیط مصنوع و اکوسیستم مدیریت کند (Saeedi & Darabi, 2015; Saeedi & Goodarzi, 2018; Salinas Rodriguez et al., 2014). این رویکرد در حالی طرح می‌شود که شهرها با کمبود آب مواجه‌اند، بنابراین بخشی از نیازهای شهری از آب شرب تأمین می‌شود. ازاین‌رو در تفکر تمرکزگرا فشار بر منابع آب تشدید و بر بهره‌برداری از منابع اصلی و سفرهای آب زیرزمینی بیش از حد تأکید می‌شود (Andrew et al., 2012). از سوی دیگر امواج گرمایی، تنش‌های اقلیمی و طولانی‌تر شدن دورهٔ گرما بر شدت این نیاز می‌افزاید، ضمن این که تغییرات اقلیمی موجب نوسان در میزان دریافت نزولات جوی شده است (Haghtalab et al., 2013). مجموعه این عوامل تنش‌های آبی موجود را بحرانی می‌سازد. در راستای همین چالش‌ها است که تفکرات موازی دیگری مانند طراحی حساس به اقلیم، طراحی اقلیمی مسئولانه یا طراحی بیوکلماتیک نیز پا به عرصهٔ وجود نهاده‌اند (Lottering et al., 2015).

طراحی شهری حساس به آب از اصولی تبعیت می‌کند که می‌توان اصلی‌ترین آن‌ها را به شرح زیر برشمرد:

- حفاظت منابع طبیعی، حفاظت و بهبود نظام طبیعی آبی در درون محیط شهری؛
- حفاظت از کیفیت آب، بهبود کیفیت آب زهکش شده از محدوده شهری به درون آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و محیط ساحلی؛
- احیا تعادل آب شهر با حداکثر سازی استفادهٔ مجدد (سیلاب، آب‌های خاکستری، آب بازیافت شده) و استفاده از الگوی مدیریت سیلاب توسعه با پیامد اندک؛
- حداقل رساندن تقاضای آب شرب، حفاظت از منابع آبی از طریق حفاظت، استفاده مجدد و افزایش کلی کارایی سیستم؛
- کاهش مداخله هیدرولوژیکی، کاهش جریان پیک و حجم رواناب حاصل توسعه شهری درعین‌حال فراهم‌سازی امکان نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی؛
- ایجاد منظر، یکپارچه‌سازی آب و منظر به‌منظور بهبود ارزش‌های بصری، اجتماعی، فرهنگی، و اکولوژیکی؛
- حداقل‌سازی هزینه و افزایش ارزش افزوده به‌منظور کاربردی شدن آن (Donofrio et al., 2009).

یکپارچگی محور اساسی طراحی شهری حساس به آب به شمار می‌آید که در آن سه محور اصلی قابل شناسایی است: حفاظت از آب، حداقل رساندن فاضلاب، کنترل کیفیت و جریان رواناب و سیلاب و بهبود آن. در بخش نخست مدیریت تقاضا، استفاده از رواناب و سیلاب، ذخیره سفره‌ها و احیا آن‌ها و در نهایت استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری و سیاه طرح می‌شود. به‌منظور این سه

Archive of SID
www.SID.ir

محور با محیط مصنوع و طراحی منظر یکپارچه می‌شود. در زیر بخش دوم مدیریت تقاضا، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری و سیاه و کاهش نفوذ و جریان مد نظر است.

در بخش سوم، استفادهٔ مجدد از رواناب و سیلاب، ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی و احیا آن‌ها، کاهش جریان پیک، بهبود کیفیت رواناب، حفاظت از ویژگی‌های هیدرولوژیکی، کاهش جریان و افزایش نفوذ، یکپارچگی با محیط مصنوع و منظرسازی از محورهای اساسی آن محسوب می‌شود (Wong, 2006).

از موضوعات کلیدی دیگر، در طراحی شهری حساس به آب، منظرسازی، یکپارچه‌سازی آب و منظر به منظور بهبود ارزش‌های بصری، اجتماعی، فرهنگی، و اکولوژیکی تشکیل می‌دهد (Donofrio et al., 2009; Goodarzi & Haghtalab, 2016) . این درحالی است که نظام مدیریت موجود رواناب‌های سطحی به شکلی طراحی شده است که آب حاصل بارش و پساب خانگی را به‌سرعت از محدودهٔ شهری خارج ساخته و از سویی دیگر گسترش سطوح ناتراوا، به تشدید این روند منجر می‌شود. حاصل آن تشدید بحران آب و خشکی محیط شهری است (Andrew et al., 2012). در مقابل رویکرد طراحی شهری حساس به آب در بخش منظر به دنبال ایجاد منظر تاب آور در مقابل خشکی به منظور کاهش نیاز به آبیاری و استفاده از آب حاصل رواناب و پساب برای آبیاری ضمن تغذیه سفره‌های زیرزمینی است (Lottering et al., 2015; Goodarzi et al., 2016). در ایجاد منظر نکات محوری را می‌توان به شرح زیر برشمرد: انتخاب گونه‌های مناسب برای تعدیل دمای سطحی، اطمینان از توان تحمل شرایط آتی اقلیمی، درک از مصرف آب‌گونه‌های مختلف، تغییر سبک منظرسازی به سمت زری اسکیپ (Csizmadia et al., 2017; Fenner, 2017; Hasse & Weingaertner, 2016).

همان‌گونه که گفته شد، طراحی شهری حساس به آب تأکید بر استفاده از سیستم‌ها و سازه‌های نرم و دارای پوشش گیاهی، مدیریت آب باران و فاضلاب برای مصارف غیر شرب و آبیاری منظر و حفاظت از سیستم‌های طبیعی هیدرولوژی شهری دارد. با این حال در اغلب شهرها، هنوز تفکر انتقال و خروج سریع رواناب و پساب از محدوده شهری در دستور کار است (Andrew et al., 2012; Rijke et al., 2011; Visconti, 2017). این در حالی است که امروزه رویکرد سنتی انتقال رواناب شهری به خارج از حوزه، برای کنترل سیلاب، به خاطر از دست دادن منابع آب، چندان به صرفه نیست و بیشتر ذخیره‌سازی، نگه‌داری و بازگشت مجدد آن به حوزه مد نظر قرار می‌گیرد(Wang et al., 2011). تفکر سنتی مدیریت رواناب در ایران نیز غالب بوده و با به هم خوردن نظام هیدرولوژیک طبیعی و بروز خشکسالی‌های سالیانه و فصلی در کنار وقوع سیل و رواناب در فصول سرد سال توأم با تغییرات اقلیمی تشدید شده است. درحالی‌که امروزه بیش از ۵۰۰ شهر ایران در معرض کم‌آبی و ۱۱ کلان‌شهر نیز در معرض خشکسالی شدید هستند و برای تأمین آب شرب خود با مشکل مواجه شده‌اند، به خاطر نزول حجم بالای بارندگی در ماه‌های سرد سال و افزایش سطوح نفوذناپذیر، حجم رواناب نیز در برخی بازه‌های زمانی افزایش شدیدی پیدا می‌کند و شهرها با مخاطره مواجه می‌سازند. به نظر می‌رسد در مواجهه با این مشکلات، به‌کارگیری الگوهای نوین که بومی‌سازی شده و با تبعیت از اصول نظم طبیعی و ایجاد ارتباط مؤثر بین دستاوردهای خود با اکوسیستم‌های طبیعی در چهارچوب طراحی اکولوژیک، مفید است.

هدف اصلی این تحقیق ارائهٔ الگوی طراحی منظر شهری با تأکید بر چارچوب طراحی شهری حساس به آب در راستای بهبود نظام هیدرولوژیک شهر و کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی است. بنابراین تحقیق حاضر در پی پاسخ به این سؤال است: با توجه به اختلال در نظام هیدرولوژیک شهر راهکارهای مناسب برای توسعه منظرسازی شهری و کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی کدام است؟ و چگونه می‌توان با استفاده از منابع آب در دسترس از سویی و طراحی اکولوژیک منظر از سوی دیگر پایداری فضاهای شهری را ارتقاء بخشید؟

Archive of SID

www.SID.ir

۲. مواد و روش‌ها

الف. مواد

مطالعهٔ موردی: شهر مهاجران

مهاجران یکی از شهرهای جدید کشور است که در ۲۵ کیلومتری اراک واقع شده است. مطابق با طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک و نسبتاً سرد است. مهاجران دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و همراه با بارش و تابستان‌های گرم و خشک است. در سال ۱۳۹۳ این شهر دارای ۱۲۰۰ هکتار مساحت و ۱۶۰ هکتار فضای سبز شهری است. این شهر در بستری کوهپایه‌ای و زراعی قرار دارد که جوی‌های آب فصلی و محدود دارد. مهاجران با اختلال در نظام طبیعی هیدرولوژیک جدی مواجه هستند. این شهر دارای میانگین بارش سالیانه تقریباً ۴۱۳ میلی‌متر است. با در نظر گرفتن حجم کم بارش سالانه و مساحت بالای فضای سبز شهری، پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده، مشکلات جدی برای آبیاری فضاهای سبز این شهر به وجود آید. این در حالی است که بیشترین میزان بارش در فصول سرد سال اتفاق می‌افتد و رواناب شهری و آب‌گرفتگی معابر مشکلات بسیاری برای شهروندان ایجاد می‌کند.

محدودهٔ مطالعاتی این تحقیق بخشی از مناطق مسکونی شمال این شهر است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این محدوده دارای مساحت ۱۹۳۴۳ مترمربع است. کاربری غالب پیرامون این محدوده مسکونی است. شیب غالب آن به سمت جنوب و شرق است. گونه‌های گیاهی کاشت شده در این محدوده مشتمل بر نارون، ترون، زرشک، کاج تهران، زبان گنجشک، بید معمولی، آیلان، چنار، چمن و گل‌های فصلی است.

ب. روش

چهارچوب کلی این تحقیق در سه فاز شناخت، تحلیل و طراحی، با تأکید بر اصول طراحی اکولوژیک نظم دهی شده است. در طراحی اکولوژیک تأکید بر شناخت جامع از لایه‌های شکل‌دهنده محیط، مطالعه برهم‌کنش آن‌ها و اتخاذ تصمیم به شکلی است که اثرات مخرب محیط زیستی را با تلفیق در فرآیندهای زیستی به حداقل برساند(Herrmann et al., 2005). این اهداف در طراحی شهری حساس به آب با تلفیق ساختارهای منظرسازی شهری با سیستم‌های هیدرولوژی شهری، و بالابردن کیفیت آب، حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی، کاهش تقاضا برای آب شرب، کاهش رواناب شهری و حفاظت از سیستم‌های زهکش طبیعی محقق خواهد شد.

شکل ۱. موقعیت محدودهٔ مطالعاتی در ایران و شهر مهاجران

Archive of SID
www.SID.ir

در چهارچوب شناخت سایت از برداشت میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و رجوع به نقشه‌ها و عکس‌های هوایی بهره‌گرفته شد. با استفاده از این روش‌ها شناخت جامعی از کاربری اراضی، مساحت سطوح مختلف، وضعیت پوشش گیاهی، الگوهای توپوگرافی و کیفیت منابع آب موجود به دست آمد. برای بررسی پتانسیل استفاده از رواناب و آب حاصل از بارش آزمایش کیفیت فیزیکی- شیمیایی از آب باران در محدوده مطالعاتی به عمل آمد. همچنین برآورد و محاسبه کمیت این منبع در دستور کار قرار گرفت. در محاسبه حجم سالانه آب قابل جمع‌آوری از رابطهٔ (۱) استفاده شد.

$$Q = C_a \times S \times A \times (H \times 10^{-3}) \quad (۱)$$

که در آن Q= حجم سالانه آب قابل جمع‌آوری (M^3)

C_a= ضریب سطحی رواناب

S= ضریب کاهش فصلی (نسبت بارش باران در فصل بارانی به کل بارش سالیانه)

A= مساحت محدودهٔ جمع‌آوری آب باران (M^2).

H= میزان بارش سالیانه (mm)

میزان عددی C_a هم با استفاده از رابطهٔ (۲ و ۳) قابل محاسبه شد:

$$C_a = \frac{\sum A_i \times C_i}{A} \quad (2)$$

که در آن

C_i= ضریب رواناب برای سطوح متفاوت

A_i= مساحت سطوح مختلف (m2)

در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک که بارش به شکل یکنواخت در همه فصول سال پخش نشده‌اند و در برخی ماه‌ها میانگین بارش بیشتر است. بنابراین برای استفادهٔ حداکثری از آب باران نیازمند استفاده از مخازن فصلی جمع‌آوری آب باران است. این مخازن باید به اندازه‌ای باشند که نیازمندی‌های آبیاری فضا را پوشش دهند و درعین‌حال اقتصادی نیز باشند. در این تحقیق برای محاسبهٔ حجم مخازن جمع‌آوری آب باران از رابطهٔ (۳) استفاده شد. بر همین مبنا دو سناریو مختلف در محاسبهٔ مخازن لحاظ شد که در نتایج به تفضیل توضیح داده شده است. شایان ذکر است ازآنجاکه میزان بارش در برخی ماه‌های سال برای ذخیره‌سازی کافی نیست، ضریب کاهش فصلی (نسبت حجم بارش باران در ماه‌های بارانی به کل حجم بارش سالانه) برای محاسبهٔ حجم آب باران قابل جمع‌آوری را نیز در نظر می‌گیرند(Zhang & Hu, 2014).

$$V = A \times C_a \times h_m \times 10^{-3} \quad (3)$$

که در آن

A= مساحت سطوح مختلف (m2)

C_a= ضریب رواناب

H_m= میزان بارش ماهیانه (mm).

مطالعات تحلیل و طراحی سایت مشتمل بر امکان‌سنجی ذخیره‌سازی رواناب سطحی در مخازن و برکه‌های طبیعی، برآورد حجم رواناب وارد شده به سایت از اراضی بالا دست، مکان‌یابی و طراحی برکه‌های طبیعی و ارائه راهبردهای طراحی در راستای بهسازی کیفیت فضای شهری پیش رو است. مبتنی بر این اصول، راهبردهای توسعه منظرسازی در محدوده مطالعاتی تدوین گردید و طرح راهبردی نیز ارائه شد.

نتایج

داده‌های بارش بلندمدت

بر مبنای آمار هواشناسی ۷ ساله (۲۰۱۷-۲۰۱۰)، میانگین بارش سالیانه در حدود ۴۱۳ میلی‌متر، ماه‌های خشک سال تیر، مرداد، شهریور، بیشترین بارش روزانه ۸۰ میلی‌متر و بیشینه خشکی هوا از اواسط مرداد تا اواسط شهریور است. جدول ۱ میانگین بارش و بیشینهٔ بارش روزانه را به تفکیک ماه نشان داده است. بر مبنای این اطلاعات بین ماه‌های اکتبر(مهر) و مه (اردیبهشت) حدود ۹۸/۴ درصد بارش سالیانه رخ می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. اطلاعات بارش به تفکیک ماه بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷

شرح	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	مجموع
مجموع بارش ماهیانه	۴۳/۱	۴۱/۸	۶۷/۹	۶۷/۷	۳۱/۴	۰/۳	۰/۳	۱/۶	۴/۳	۳۳/۳	۵۸/۵	۶۳/۵	۴۱۳/۶

جدول ۲. مساحت و درصد پوشش سطوح در محدوده مطالعاتی

نوع پوشش	مساحت(m^2)	درصد
پشت بام	۸۴۷۲/۴	۴۴
فضای سبز	۵۳۶۹/۴	۲۸
آسفالت	۴۴۰۱/۴	۲۳
سنگ فرش	۱۱۰۰/۳	۵

محاسبهٔ ضریب نفوذ رواناب

پوشش سطوح در محدوده مطالعاتی از چهار بخش تشکیل شده است که مشتمل بر پشت‌بام، آسفالت، سنگ فرش و فضاهای سبز، است. جدول ۲ مساحت و درصد پوشش هر کدام را به تفکیک ارائه داده است. در مجموع سطوح نفوذناپذیر ۷۲ درصد و سطوح نفوذپذیر ۲۸ درصد از مساحت محدودهٔ مطالعاتی را اشغال کرده‌اند.

با افزایش سطوح نفوذناپذیر در شهرها، ضریب رواناب سطحی نیز افزایش می‌یابد. در محدودهٔ مطالعاتی با احتساب ضریب رواناب ۰/۹ برای آسفالت و پشت بام، ضریب ۰/۴ برای سنگ فرش و ۰/۱۴ برای فضای سبز(Zhang &Hu, 2014) و استفاده از فرمول ۲، ضریب رواناب محدودهٔ مطالعاتی ۰/۶۶ محاسبه شد.

محاسبهٔ حجم آب باران قابل جمع‌آوری

برمبنای میانگین بارش سالانه ۴۱۳/۶ میلی‌متر و استفاده از فرمول ۱، حجم سالانه آب قابل جمع‌آوری ۴۹۳۵/۸ مترمکعب است. از این حجم سالانه، پشت‌بام‌ها ۲۹۳۳ ، آسفالت خیابان ۱۵۲۳/۷، فضای سبز ۳۰۹/۸ و سنگ فرش پیاده‌روها با ۱۶۹/۳ مترمکعب را به خود اختصاص می‌دهند.

جمع‌آوری آب باران در پشت‌بام‌ها و استفادهٔ آن در مصارف بهداشتی و آبیاری باغچه‌های خانگی باعث کاهش تقاضای آب شرب و همچنین کاهش رواناب خواهد شد. جمع‌آوری آب باران از سطوح خیابان‌ها و پیاده‌روها، ذخیره‌سازی و استفادهٔ مجدد آن در مصارف آبیاری فضاهای سبز عمومی در محدودهٔ مطالعاتی باعث کاهش وابستگی به آب چاه، کمک به احیاء سفره‌های زیرزمینی و کاهش رواناب شهری خواهد شد. آب قابل جمع‌آوری در سطوح فضاهای سبز محدودهٔ مطالعاتی، هر چند حجم بالایی نیست و این حجم در طول سال پخش شده است، می‌تواند در برکه‌های مصنوعی جمع‌آوری شود و علاوه بر بهبود کیفیت بصری محدوده مطالعاتی منجر به احیاء سفره‌های زیرزمینی و کاهش رواناب شهری می‌شود.

محاسبهٔ ظرفیت مخازن جمع‌آوری آب باران

از آنجا که فصل بارش در محدوده مطالعاتی با فصل رشد گونه‌های گیاهی یکی نیست و همچنین نمی‌توان تمامی رواناب‌های موجود در فصل بارش را به یکباره استفاده کرد، پیشنهاد می‌شود که آب باران در مخازنی جمع‌آوری شود و در طول زمان‌های متفاوت استفاده شود. محاسبهٔ ظرفیت بهینه مخازن برای استفادهٔ حداکثری از آب باران و کاهش هزینه‌های احداث اهمیت بسیاری دارد. در صورتی که این مخازن کوچک طراحی شوند، امکان استفادهٔ

Archive of SID
www.SID.ir

حداکثری از رواناب و آب باران موجود فراهم نمی‌آید و در صورتی که بزرگ‌تر از حد نیاز محاسبه شود، هزینهٔ اجرا افزایش پیدا خواهد کرد و راندمان اقتصادی پروژه کاهش می‌یابد. آب باران را می‌توان از همهٔ سطوح جمع‌آوری کرد اما از آنجایی که حجم رواناب در سطوح فضای سبز و پیاده‌روها ناچیز است و عملاً امکان جمع‌آوری این آب‌ها وجود ندارد. در ارتباط با چنین سطوحی پیشنهاد می‌شود آب باران به برکه‌های ذخیرهٔ آب باران در داخل باغچه‌ها هدایت شود و به‌مرور جذب زمین شود و آب‌های زیرزمینی را غنی کند. در این تحقیق مجموعه مخازن پیشنهادی برای استفادهٔ حداکثری از آب باران مشتمل بر مخازن خانگی و مخازن شهری است که برای استفادهٔ مجدد از آب باران جمع شده از سطوح پشت بام و آسفالت خیابان استفاده خواهد شد.

در محاسبهٔ مخازن آب باران خانگی، با توجه به مساحت بالا و درنتیجه مصرف بالای آب در مصارف بهداشتی و آبیاری منازل مسکونی فرض می‌شود آب ذخیره‌شده در منازل در مخازن به‌صورت ماهانه استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان از میانگین بارش ماه‌های پر بارش (از مهرماه تا اردیبهشت ماه) برای محاسبهٔ حجم مخازن استفاده کرد. بنابراین با استفاده از فرمول ۳ و استفاده از میانگین بارش ماهانهٔ فصل بارش، ظرفیت مخازن جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها ۳۷۲/۸مترمکعب محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر حجم مخزن مورد نیاز برای یک خانه با مساحت پشت بام ۲۰۰ مترمربع برابر با ۸/۸ مترمکعب است. بدیهی است این حجم مخزن در فصل خشک سال جوابگوی تمامی نیازهای آبیاری را نخواهد داد ولی می‌تواند در کاهش وابستگی به آب شرب شهری برای آبیاری فضای سبز خانگی کمک‌رسان باشد.

در محاسبهٔ مخزن جمع‌آوری آب باران از سطوح آسفالت باید به این نکته توجه داشت که تمامی حجم آب جمع‌آوری شده برای مصارف آبیاری استفاده خواهد شد و از آنجایی که در محدودهٔ مطالعاتی فصل بارش باران با فصل رشد گونه‌های گیاهی منطبق نیست، باید برنامه‌ریزی انجام شود تا آب باران در ماه‌های دارای بارش در مخازنی ذخیره شود و در ماه‌های رشد گونه‌های گیاهی مورد استفاده آبیاری قرار گیرد. ازاین‌رو اعداد مختلفی برای در نظر گرفتن میزان بارش در فرمول ۳ قابل ارائه است. در این مطالعه سناریو مطرح شده برای محاسبهٔ حجم مخزن‌های شهری به شرح زیر پیشنهاد است:

مطابق با جدول ۱ ماه‌های سال در محدودهٔ مطالعاتی به سه بخش تقسیم می‌شوند: ۱. ماه‌های خشکی که هم‌زمان با فصل رشد گونه‌های گیاهی است (June, July, August, and September). در طول این ماه‌ها فضاهای سبز باید به‌طور منظم آبیاری شود؛ ۲. ماه‌های دارای بارشی که هم‌زمان با ماه‌های رشد گونه‌های گیاهی است (October, November, April, and May). هرچند میزان بارش در این ماه‌ها بخشی از نیازهای آبیاری را پوشش می‌دهد اما فضاهای سبز باید مورد آبیاری نیز قرار گیرد؛ ۳. ماه‌های بارش در فصل‌های سرد سال (December, January, February and March). در این ماه‌ها به دلیل دمای پایین، هیچ نیازی به آبیاری فضای سبز نیست. بنابراین می‌توان فرض کرد که میزان آب باران جمع‌آوری شده در ماه‌های دسته دوم، به شکل موقت برای آبیاری‌های همان ماه‌ها و آب باران جمع‌آوری شده در ماه‌های دسته سوم برای استفاده آبیاری فصل رشد سال بعد (ماه‌های دسته اول) استفاده می‌شود. از آنجایی که مجموع میزان بارش در ماه‌های دسته سوم بیشتر از مجموع بارش در ماه‌های دسته دوم است (۱۹۰/۸<۲۱۶/۳) می‌توان مبنای محاسبهٔ حجم مخازن را ماه‌های دسته دوم در نظر گرفت. با در نظر گرفتن این عدد و مساحت فضاهای آسفالت محدودهٔ مطالعاتی حجم مخزن مورد نیاز برای ذخیرهٔ آب باران در این سطوح برابر با ۸۴۸/۹ مترمکعب است.

در سال ۱۳۹۳ درمحدودهٔ مطالعاتی ۷۰ خانوار و ۲۶۸ نفر زندگی می‌کنند. بر مبنای گزارش ارائه شده توسط ادارهٔ آب و فاضلاب استان مرکزی، سرانه تولید فاضلاب در

Archive of SID

www.SID.ir

شهرستان شازند ۱۵۴ لیتر در روز است (پورتال رسمی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، ۱۳۹۳). به‌این‌ترتیب فاضلاب تولیدی در محدودهٔ مطالعاتی روزانه تقریباً ۴۱/۳ مترمکعب در روز است. این حجم بالای آب می‌تواند با تصفیه به شبکهٔ دوگانهٔ توزیع آب بازگشت شود و در مصارف غیر شرب مانند بهداشتی و آبیاری استفاده شود. در سال ۱۳۹۲ نمونه‌برداری از فاضلاب شهر مهاجران انجام شد (جدول ۳).

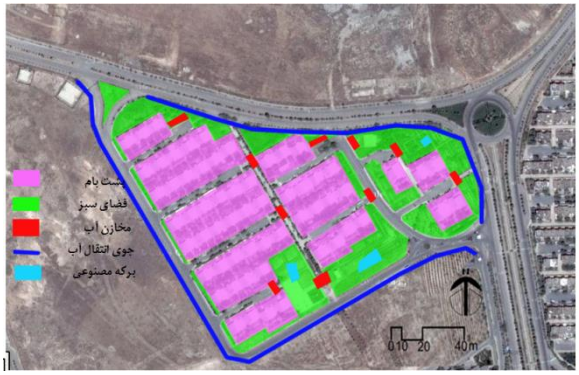
بحث

همان‌گونه که در یافته‌های تحقیق آمده است، حجم آب باران در محدودهٔ مطالعاتی ۴۹۳۵/۸ مترمکعب است که با در نظر گرفتن مساحت فضای سبز و تعداد ساکنان در این محدوده عدد بالایی است. این حجم آب می‌تواند در مصارف آبیاری و بهداشتی خانوارهای ساکن منطقه استفاده شود و به کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی منجر شود. از آنجا که در محدودهٔ مطالعاتی فصل رشد گیاهان با فصل بارش منطبق نیست، برای استفاده از این منبع آب نیازمند ذخیرهٔ موقت و استفاده از سیستم آبیاری بهینه است. حجم مخازن جمع‌آوری آب باران در سطوح پشت بام و آسفالت با در نظر گرفتن دو پیش‌فرض متفاوت برای برآورد به ترتیب ۳۷۲/۸ و ۸۴۸/۹ مترمکعب محاسبه شد.

با توجه به کم بودن حجم رواناب حاصل در سطوح فضای سبز و سنگ فرش و همچنین ماهیت این سطوح، ذخیرهٔ این حجم آب عملی به نظر نمی‌رسد. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود رواناب حاصل از این سطوح در برکه‌های ذخیرهٔ آب جمع‌آوری شود تا با جذب در زمین به غنی کردن سفره‌های آب زیرزمینی کمک شود. هرچند ساخت مخزنی بزرگ و پمپاژ آن به مناطق مصرف آب در کوتاه مدت دارای صرفهٔ اقتصادی است، اما تأکید بر صرفه‌جویی انرژی در بلند مدت و استفاده از توپوگرافی طبیعی زمین برای هدایت آب به سمت مخزن و انتقال آن‌ها با اهداف آبیاری تأکید بر مکان‌یابی چندین مخزن جمع‌آوری آب باران دارد. ازاین‌رو مکان‌یابی مخازن بر اساس معیارهایی از مشتمل بر توپوگرافی وضع موجود، بالا دست بودن مناطق جمع‌آوری آب باران و پایین‌دست بودن فضاهای سبز برای آبیاری بدون نیاز به پمپاژ، وجود فضای باز، امکان اجرای عملیات عمرانی و مدیریت و نگه‌داری آسان صورت پذیرفت. شکل ۲ موقعیت مخازن جمع‌آوری آب باران و برکه‌های فصلی در محدودهٔ مطالعاتی را نشان داده است. با توجه به وجود سرمای زمستانه و امکان وقوع یخبندان و همچنین موارد زیبایی‌شناسی پیشنهاد می‌شود این مخازن به‌صورت زیرزمینی اجرا شوند.

جدول ۳. برخی ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب شهر مهاجران

نمونه	PH	EC ($dS\ m^{-1}$)	BOD (mg/lit)	COD (mg/lit)	Ca^{+2} ppm	Mg^{+2} ppm	Cl^{-1} Ppm	Co_3^{-2} ppm	So_4^{-2} Ppm
فاضلاب شهری	۷/۶۳	۱/۹۱	۱۹۶	۲۱۵	۵۳/۵	۲۳/۳	۵۶/۷	۶۵/۵	۱۲۸/۶

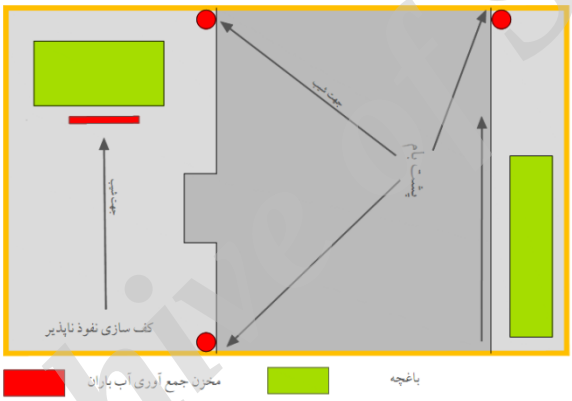


شکل ۲. مکان‌یابی مخازن جمع‌آوری آب باران از معابر شهری در محدودهٔ مطالعاتی

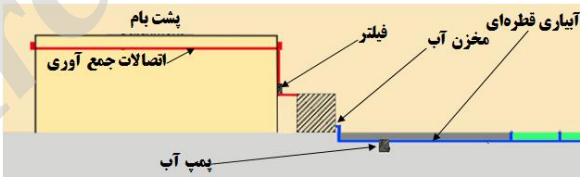
Archive of SID
www.SID.ir

استفادهٔ بهینه از آب باران در خانه‌های مسکونی با شیب‌بندی در پشت بام و حیاط خانه‌ها، نصب اتصالات و مخازن نه‌چندان پیچیده امکان‌پذیر است. شکل ۳ الگوی موقعیت مخازن و الگوی شیب بندی درخانه‌های محدودهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد. شکل ۴ نیز جزئیات و اتصالات سیستم جمع‌آوری آب باران در خانه‌های مسکونی را نشان داده است.

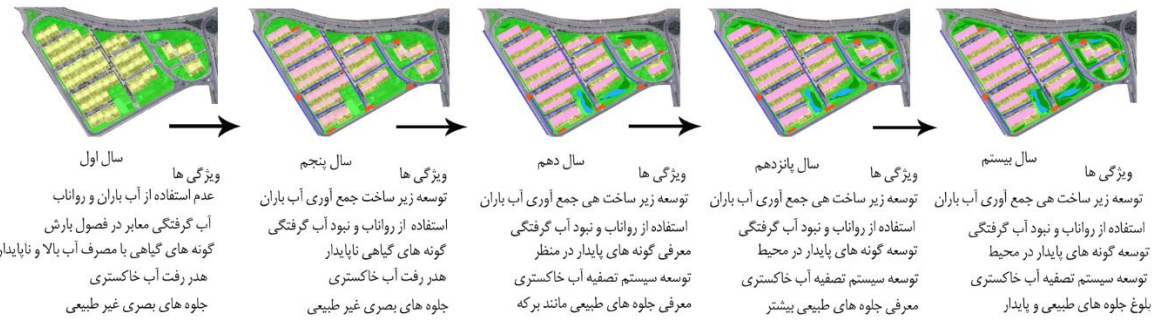
سیستم جمع‌آوری آب باران در معابر مشتمل بر جوی هدایت آب، صافی، مخازن زیرزمینی، پمپ آب، لوله‌های انتقال دهنده و سیستم آبیاری قطره‌ای است. از آنجا که در معابر شهری احتمال انسداد سیستم جمع‌آوری آب باران بیشتر است، ازاین‌رو نیازمند نگه‌داری و نظافت منظم است. البته باید در نظر داشت که جمع‌آوری آب‌هایی که در فصول یخبندان اقدام به نمک پاشی معابر می‌کند با چالش‌هایی مواجه است. ازاین‌رو استفاده از نمک در این معابر توصیه نمی‌شود. شکل ۵ موقعیت مخازن جمع‌آوری آب باران را در محدودهٔ مطالعاتی نشان داده است. الگوی توپوگرافی در محدودهٔ مطالعاتی استفاده از آب باران در مخازن را تسهیل کرده است و وابستگی به سیستم پمپاژ را کم کرده است با این حال، برای آبیاری قطره‌ای، سیستم پمپاژ پیش‌بینی‌شده است.



شکل ۳. الگوی شیب بندی و موقعیت مخازن در خانه‌های مسکونی



شکل ۴. اجزاء سیستم جمع‌آوری آب باران در خانه‌های مسکونی



شکل ۵. الگوی شماتیک توسعه کوتاه مدت و بلند مدت در محدودهٔ مطالعاتی

Archive of SID
www.SID.ir

پیشنهاد می‌شود که در توسعهٔ فضای سبز در محدودهٔ مطالعاتی از گونه‌های گیاهی مقاوم به کم‌آبی استفاده شود. گونه‌های گیاهی که رشد بهینه خود را در شرایط کم‌آبی حفظ می‌کنند، گونه‌های انعطاف‌پذیر نسب به کم‌آبی می‌گویند. با توجه به هدف این تحقیق که کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی است، گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی، به آبیاری کمی نیاز دارند و از اولویت برای توسعهٔ فضای سبز در محدودهٔ مطالعاتی برخوردار هستند.

توسعهٔ سیستم دوگانهٔ توزیع آب در محدودهٔ مطالعاتی و استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای مصارف بهداشتی و غیرشرب خانگی، وابستگی و تقاضا به آب شرب را کاهش می‌دهد و رویکرد مناسبی برای کاهش مصرف آب است. از آنجا که حجم فاضلاب تولیدی در منطقهٔ بالا است (۴۱/۳ مترمکعب در روز) این حجم بالای آب می‌تواند وابستگی به منابع آب زیرزمینی را کاهش دهد و به کاهش تقاضا برای آب شرب می‌انجامد.

فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری فضای سبز نیز مناسب است زیرا مقدار نیتروژن این آب در حد مطلوبی است و بیشتر از نصف این نیتروژن ارگانیک است که به کمک فرایندهای بیولوژیکی توسط گیاهان جذب می‌شوند. فاضلاب تصفیه شده همچنین غنی از مواد مغذی، پتاسیم و نیتروژن است که برای گیاهان، کود خوبی محسوب می‌شود. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که مناسب بودن آب برای آبیاری گیاهان بستگی به ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب، نوع گیاه، خصوصیات خاک و شرایط اقلیمی نیز دارد.

مجموعه موارد توسعه مطرحی در بازهٔ زمانی کوتاه مدت و بلند مدت امکان انجام دارد. در کوتاه مدت می‌توان با توسعهٔ سیستم جمع‌آوری آب باران در منازل وابستگی به منابع آب زیرزمینی را کاهش داد و منبع آب پایداری برای باغچه‌ها به وجود آورد. سپس با توسعهٔ این سیستم جمع‌آوری آب باران در فضاهای باز عمومی می‌توان وابستگی این فضاها را به آب چاه کاست.

جدول ۴. استراتژی‌های پیشنهادی برای حفاظت و تقویت منظر اکولوژیک محدوده

ردیف	استراتژی	اقدامات
۱	حفاظتی	حفظ گونه‌های متناسب با سایت و بومی حفظ لکه‌های سبز بومی و سازگار با شرایط اقلیمی تقویت زیرساخت‌های آبی برای حفاظت از ارزش‌های منظر بومی تقویت لکه‌های ناسازگار با شرایط بومی و اقلیمی بهسازی و تقویت فضای سبز با عملیات واکاری
۲	استراتژی تهاجمی	گسترش لکه‌های بومی و سازگار تقویت و بهبود ترکیب گونه‌ها درختی و اشکوب بندی گونه‌ها بهبود زیرساخت‌های آبی و مدیریت منابع آب برای گسترش لکه‌های سبز سازگار بهبودتاب آوری منظر با طراحی کاشت متناسب
۳	استراتژی مرمتی	احیا و مرمت لکه‌های سبز تخریب شده مرمت اکوسیستم‌های طبیعی آسیب دیده مرمت پیوند اکولوژیک لکه‌های سایت مرمت زیرساخت‌های طبیعی و آبی در راستای مرمت فضاهای آسیب دیده
۴	سودجویانه	ایجاد زیرساخت‌های سبز تبدیل زیر ساخت‌های خاکستری به زیر ساخت‌های سبز بازآفرینی منظر اکولوژیک در عرصه‌های مجاز خلق زیستگاه‌های بومی به منظور ایجاد اکوسیستم طبیعی و تاب‌آور

Archive of SID

www.SID.ir

براساس جدول ۴، آن دسته از لکه‌های سبز موجود که بومی هستند، با شرایط اقلیمی سازگارند و از تاب‌آوری مناسبی برخوردارند، بنابراین حفظ خواهند شد. از سوی دیگر گونه‌هایی که در بخش‌های مختلف پراکنده‌اند اما از تاب‌آوری و سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی و محیطی محدوده برخوردارند نیز حفظ می‌شوند. نمونهٔ این گونه‌ها عبارت‌اند از: ترون، زرشک، کاج تهران، زبان گنجشک و آیلان بدیهی است زیرساخت‌های آبی برای تأمین آب این بخش طراحی شده است که در بخش پیشین به آن اشاره شد. در بخش استراتژی تهاجمی، لکه‌هایی که با شرایط بومی منطقه سازگار نیستند شناسایی شده و تناسب با عملیات واکاری تقویت خواهد شد. از سوی دیگر گونه‌هایی که سازگار نیستند نیز به تدریج زمانی با گونه‌های متناسب جایگزین خواهند شد. ضمن این که با ایجاد اشکوب‌بندی مناسب می‌توان تاب‌آوری و سازگاری لکه‌ها را نیز افزایش داد. برای این که اقدامات به سرانجام بهتری برسد، در طراحی زیرساخت‌ها تأمین منابع آب این دسته از لکه‌ها نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

در استراتژی مرمتی، آن بخش از محدوده که به دلیل ساخت‌وساز تخریب شده است یا به دلیل ایجاد زیرساخت‌های شهری آسیب دیده است مرمت خواهد شد. عملیات مرمت شامل مرمت و بازآفرینی لکه‌های آسیب دیده، اکوسیستم‌های تخریب شده، ایجاد پیوند اکولوژیک بین لکه‌ها و زیرساخت‌های مربوط به آب می‌شود.

در بخش استراتژی سودجویانه، هدف، ایجاد ساختارهای سبز در محدوده است که با اقداماتی مانند تبدیل زیرساخت‌های خاکستری به سبز مانند مدیریت و طراحی متناسب شبکه دسترسی به منظور مدیریت یکپارچه آب، ایجاد لکه‌های سبز در مناطق خالی که از نظر کاربری مجاز به ایجاد فضای سبز است، تنوع‌بخشی به لکه‌ها با تأکید بر ایجاد زیستگاه برای گونه‌های مختلف جانوری محدوده یاد کرد. در همهٔ این موارد بهبود تاب‌آوری و یکپارچگی اکوسیستم مد نظر است.

براساس چارچوب ذکر شده، در بازهٔ زمانی بلند مدت با تغییر الگوی کاشت گونه‌های گیاهی و تأکید بر استفاده از گونه‌های گیاهی بومی و مقاوم به شرایط کم‌آبی، می‌توان تاب‌آوری فضاهای باز شهری را افزایش داد. طی این بازه زمانی استفاده از سیستم آبیاری پر بازده مانند آبیاری قطره‌ای و کاهش هدر رفت آب توصیه می‌شود. در نهایت در بازهٔ زمانی بلند مدت جلوه‌های منظرسازی فضای باز شهری به شکل ویژه‌ای با مفهوم طراحی شهری حساس به آب دچار تحول شده و منتج به فضای باز همراه با جلوه‌های طبیعی بیشتر و پایدارتر خواهد شد. شکل ۵ این مراحل را به شکل گرافیکی نشان داده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

رویکرد این تحقیق استفاده از مفهوم طراحی شهری حساس به آب در طراحی فضاهای شهری است. این رویکرد وابستگی به منابع آب زیرزمینی را کاهش می‌دهد. بر مبنای نتایج تحقیق سالانه ۴۹۳۵/۸ مترمکعب آب باران در محدودهٔ مطالعاتی قابل جمع‌آوری است که در سطوح مختلف امکان ذخیره‌سازی وجود دارد. از این حجم آب باران بیشترین میزان در پشت‌بام‌ها و کمترین در پیاده‌روها امکان جمع‌آوری دارد. برای استفادهٔ بهینه از این منبع آب، حجم مخازن جمع‌آوری برای هر سطوح نیز محاسبه شد و سیستم جمع‌آوری آب باران برای آن‌ها پیشنهاد شد. در کنار این منبع می‌توان از فاضلاب تصفیه شده نیز برای مصارف بهداشتی و آبیاری در محدودهٔ مطالعاتی استفاده کرد که به کاهش تقاضای آب شرب می‌انجامد. بر مبنای محاسبات انجام شده، در محدودهٔ مطالعاتی حدود ۴۱ مترمکعب فاضلاب به‌صورت روزانه تولید می‌شود که در صورت تصفیه و استفاده در بخش منظرسازی این بخش را کاملاً بی‌نیاز می‌سازد. به نظر می‌رسد استفاده از این رویکرد در طراحی فضاهای شهری ایران به کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی و کاهش تقاضا برای آب شرب می‌انجامد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد که ضروری است،

Archive of SID

www.SID.ir

رویکرد تمرکز زدا در مدیریت منابع آب جایگزین مدیریت متمرکز شود. با این تفکر به‌جای نگرانی دربارهٔ نحوهٔ تخلیهٔ رواناب‌ها و آب‌های خاکستری، ایـن آب‌هـا وارد عملیـات بازچرخانی شده و در هر پهنه مدیریت می‌شود و طی زمان استفاده می‌شود. در این تفکر بخشی از اقدامات منتهـی بـه مـدیریت آب و بخـش دوم آن منتهـی بـه طراحـی منظـر متناسب به شرایط محیطی و منابع آب می‌شود. به‌کـارگیری استراتژی‌های متناسب طراحی منظر می‌تواند ضمن کـاهش نیاز به منابع آب، با مدیریت مناسب آب در منظـر شـهری، پاسـخگوی بخشـی از چـالش‌هـای محیطـی از جملـه آب شهری نیز باشد.

یادداشت‌ها

1. Wicked Problems
2. Water sensitive urban design
3. Hierarchy Theory

منابع

Andrew, M. C., Nigel, J. T., Jason, B., Margaret, L. and Matthias, D. 2012. Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. Progress in Physical Geography: Earth and Environment 37: 2-28. doi: 10.1177/0309133312461032

Csizmadia, D., Säumel, I., Pille, L., Szilágyi, K. and Balogh, P. I. 2017. Water sensitive design potentials in Paris, Berlin, and Budapest revisited. Czasopismo Techniczne, 2017: 113-123.

Donofrio, J., Kuhn, Y., McWalter, K. and Winsor, M. 2009. Water-sensitive urban design: An emerging model in sustainable design and comprehensive water-cycle management. Environmental Practice, 11: 179-189.

Fenner, R. 2017. Spatial Evaluation of Multiple Benefits to Encourage Multi-Functional Design of Sustainable Drainage in Blue-Green Cities. Water, 9: 953.

Goodarzi, M., Haghtalab, N. and Mahdinia, M. H. 2016. Providing Strategies for Landscape Rehabilitatin of Industrial Areas Based on Eco-Industrial Network Concept Case Study: Chenaran Industrial State. Journal of Environmental Science and Technology, 18(2): 207-219.

Goodarzi, M. and Haghtalab, N. 2016. Providing Empirical Suggestions for Rehabilitation of Deficient Urban Parks Based upon Users' Preferences. International Journal of Architecture and Urban Development, 6(1): 65-72.

Haghtalab, N., Goodarzi, M., Habibi, N.M., Yavari, A.R. and Jafari, H.R. 2013. Climate modeling in Tehran & Mazandaran provinces by LARSWG and comparing changes in northern and southern central Alborz hillside. Journal of Environmental Science and Technology, 15(1): 38-49.

Hasse, J. and Weingaertner, D. 2016. From vision to action: roadmapping as a strategic method and tool to implement climate change adaptation–the example of the roadmap ‘water sensitive urban design 2020’. Water science and technology, 73: 2251-2259.

Herrmann, M., Royffe, C. and Millard, A. 2005. Sustainable Landscape Design in Practice. In Landscape and Sustainability, 220-252: Taylor & Francis.

Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D. and Deletic, A. 2017. Framing water sensitive urban design as part of the urban form: a critical review of tools for best planning practice. Environmental Modelling & Software 96: 265-282.

Lottering, N., Du Plessis, D. and Donaldson, R. 2015. Coping with drought: the experience of water sensitive urban design (WSUD) in the George Municipality. Water SA, 41: 01-08.

Nokhandan, M. H., Haghtalab, N., Malboosi, S., Abasi, F. and Goodarzi, M. 2011. Quantitative Assessment of Climate Change by Weather Generation Models and Downscaling GCM Data in Tehran, Iran. In Global Food Insecurity, 233-244: Springer.

Perini, K. and Sabbion, P. 2017. Urban Sustainability and River Restoration: Green and Blue Infrastructure. In Urban Sustainability and River Restoration: Green and Blue Infrastructure: Wiley Online Library.

Rijke, J., Farrelly, M., Morison, P., Brown, R. and Zevenbergen, C. 2011. Towards improved urban water governance in Adelaide, Australia. In Towards improved urban water governance in Adelaide, Australia, 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brazil, 11-16.

Archive of SID
www.SID.ir

Saeedi, I. and Darabi, H. 2015. Campus Landscape design based on resilience approach in water shortage state (Case study: Campus of Malayer University). Journal of environmental studies 40: 1051-1066. doi: 10.22059/JES.2014.53019

Saeedi, I. and Goodarzi, M. 2018. Rainwater harvesting system: a sustainable method for landscape development in semiarid regions, the case of Malayer University campus in Iran. Environment, development and sustainability: 1-20.

Salinas Rodriguez, C. N., Ashley, R., Gersonius, B., Rijke, J., Pathirana, A. and Zevenbergen, C. 2014. Incorporation and application of resilience in the context of water-sensitive urban design: linking European and Australian perspectives. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 1: 173-186.

Visconti, C. 2017. Community-based adaptation measures for Water Sensitive Urban Design in context of socio-environmental vulnerability. TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment.

Wang, X., Zhao, R. and Hao, Y. 2011. Flood control operations based on the theory of variable fuzzy sets. Water Resources Management 25: 777-792.

Wong, T. H. 2006. Water sensitive urban design-the journey thus far. Australasian Journal of Water Resources, 10: 213-222.

Zhang, X. and Hu, M. 2014. Effectiveness of Rainwater Harvesting in Runoff Volume Reduction in a Planned Industrial Park, China. Water Resources Management 28: 671-682. doi: 10.1007/s11269-013-0507-9

Archive of SID

www.SID.ir