



ششمین همایش ملی سامانه های
سطوح آبگیر باران
بهمن ۱۳۹۶ دانشگاه آزاد اسلامی واحد
خمینی شهر



مدیریت پساب و آب باران در مناطق شهری با رویکرد تالاب مصنوعی

سید سعید اسلامیان^۱، سید سعید اخروی^۲ و سید یعقوب کریمی^۳

* نویسنده مسئول: S.okhravi94@basu.ac.ir

واژه‌های کلیدی

آب باران، تالاب مصنوعی، توسعه کم تأثیر، رواناب، سامانه تصفیه غیر متمرکز، مناطق شهری

چکیده

نیاز به فضای کم، عملیات آسان و جنبه‌های اقتصادی به مانند آبیاری فضای سبز سبب ترغیب روزافزون به استفاده از سامانه‌های غیرمتمرکز طبیعی به منظور ایجاد شهری با ویژگی‌های ایده‌آل محیط‌زیست می‌شوند. تمرکز این مقاله بر مدیریت آب از طریق راه‌حل‌های طبیعی در مناطق شهری و روستایی است. نتایج و راندمان استفاده از فاضلاب با استفاده از سامانه‌های تالاب مصنوعی غیرمتمرکز، مدیریت هوشمند رواناب و بازیافت پساب و آب به منظور استفاده بهینه در آبیاری شهری مورد بحث قرار گرفته است. بدین منظور چندین نمونه مطالعه موردی بر اساس راندمان حذف و مزایای زیست‌محیطی ارائه شده است. نکته حائز اهمیت، مشارکت این گونه رویکردها در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی به عنوان یک اصل در مفهوم شهر ایده‌آل محیط‌زیست است.

۱- استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۳- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۱- مقدمه

در مدیریت آب و فاضلاب شهری معمولاً از سامانه‌های متمرکزی استفاده می‌شود که مفاهیم آن در اوایل قرن ۲۰ ایجاد شده است. با توسعه شهرنشینی، سامانه‌های فاضلاب با برد هزاران کیلومتر و با مفهوم تحویل به آخرین نقطه اشتراک توسعه یافته‌اند. سپس مقادیر زیادی از فاضلاب جمع‌آوری شده پس از انتقال در واحدهای صنعتی متمرکز تصفیه شدند. در قرن ۲۱، فضای ناکافی، تراکم بالای جمعیت، آلودگی صوتی و زیست‌محیطی از معضلات امروزه نواحی مدرن شهری می‌باشند. شهرنشینی به عنوان نماد توسعه اقتصادی شناخته می‌شود اما به دنبال آن مشکلات محیط‌زیستی جدی مانند آلودگی آب و فاضلاب و اثرات گرمای شدید مناطق شهری نسبت به سایر مناطق (UHI) ^۱ اطراف ایجاد می‌شوند [۳]. با توسعه شهرنشینی، مدل شهر ایده‌آل محیط‌زیست به صورت شهری دوستار طبیعت تعریف شده است که در آن آب و انرژی به صورت مناسب ارزش‌گذاری شده و فاضلاب‌ها نیز با مدیریت شایسته بازیافت شوند. در بیشتر شهرها، فاضلاب پس از جمع‌آوری به مرکز تصفیه‌خانه مرکزی فرستاده می‌شوند. این نوع رویکرد نیاز به سامانه‌های فاضلابی وسیع و لوله‌های زیرزمینی متعدد داشته که نهایتاً به صرف هزینه‌ای کلان برای ساخت و نگهداری آن نیاز می‌شود؛ در حالی که لزوماً سازگار با طبیعت نیست.

تالاب‌های مصنوعی برای تصفیه فاضلاب، سامانه‌هایی بوده که راندمان بالای حذف آلاینده‌ها در آن برای بیش از ۲۰ سال مورد بحث قرار گرفته است و توسعه‌های اخیر در این زمینه سبب تقویت کارایی آن‌ها شده است [۴]. در این مقاله، پتانسیل این سامانه‌ها برای بازیافت فاضلاب غیرمتمرکز در مناطق شهری به ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک مورد بحث قرار گرفته است. همچنین تلفیق تالاب‌های مصنوعی برای مدیریت آب باران به صورت کاربردی در این مقاله مورد

علاوه بر ناکارآمدی سامانه‌های آبیاری و افزایش جمعیت، اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تغییر اقلیم جهانی و پیش‌بینی حتمی کمبود آب نیز از عوامل ایجاد توسعه الگویی جدید برای مدیریت منابع آب محسوب می‌شوند. بر طبق آمارهای موجود در حالی که در سال ۱۳۴۰ مقدار مصرف کل آب در ایران در حدود ۴/۵ میلیارد مترمکعب بوده، این میزان مصرف در سال ۱۳۷۶ به ۸۳ میلیارد مترمکعب رسیده است و پیش‌بینی حاکی از ۱۱۶ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۰ است [۱]. همگام با رشد جمعیت، نیاز آبی و همچنین تولید فاضلاب نیز رو به افزایش است. بر اساس گزارش آب مورد نیاز شرب شهری و روستایی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مقدار کل استحصال آب شرب مطلوب به ۷۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۴۰۰ خواهد رسید که از این مقدار حدود ۵۹۰۰ میلیون مترمکعب به عنوان آب برگشتی و پساب (فاضلاب تصفیه‌شده) پیش‌بینی می‌شود [۲]. تخلیه پساب شهری، صنعتی و کشاورزی به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند موجب آسیب رساندن به محیط‌زیست گردد و در نهایت برای سلامت انسان و دیگر موجودات زنده خطراتی را به همراه داشته باشد. با توجه به این تفاسیر، یکی از راهکارهای حفاظت آب استفاده مجدد از آب‌های نامتعارفی چون پساب‌های شهری و صنعتی می‌باشد. همچنین از راهکارهای بنیادی دیگر برای کنترل رواناب و جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از آن نیز مدیریت آب باران به منظور قرارگیری در چرخه بازیافت آب است. از این رو با تصفیه آب از یک سو می‌توان از آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی جلوگیری نمود و از طرفی منبع جدیدی را برای استفاده در عرصه‌های مختلف به وجود آورد.

¹ Urban Heat Islands

در روش های معمول تصفیه پساب مانند فیلترهای شنی، تانک های هوادهی، هضم کننده های بی هوازی و لجن فعال نه تنها نیاز به صرف انرژی های غیر تجدیدپذیر بوده بلکه هزینه های ساخت تجهیزات پمپ انتقال اجتناب ناپذیر است. در حالی که تالاب مصنوعی بدون مصرف انرژی به تصفیه اضافی پساب می پردازد. همچنین نکته قابل ذکر کاربرد این سامانه در تصفیه پساب های با غلظت آلاینده کم است، جایی که سامانه های رایج تصفیه قادر به تصفیه غلظت مذکور نیستند. به عنوان نمونه سامانه لجن فعال کارایی قابل قبولی در غلظت های BOD کمتر از ۵۰ تا ۸۰ میلی گرم بر لیتر ندارد [۶]. استفاده از سامانه تالاب مصنوعی با طراحی مناسب مزایایی از قبیل (۱) کاهش هزینه سرمایه گذاری اولیه جهت تأسیسات مکانیکی و ساختمانی (۲) کاهش هزینه های عملیاتی، تعمیر و نگهداری (۳) توسعه محیط زیست گیاهی و جانوری (۴) نیاز کمتر به نیروی انسانی ماهر (۵) عمر مفید بالای سامانه نسبت به سامانه های متداول تصفیه را دارا است.

سامانه های تصفیه طبیعی پساب به دو دسته تقسیم می شوند: تصفیه به کمک زمین و تصفیه به کمک گیاهان آبزی. تالاب های طبیعی و مصنوعی در دسته دوم قرار می گیرند. در تالاب های طبیعی بشر دخالتی در ساخت آن ها نداشته و عملاً به عنوان منبع پذیرنده عمل می کند و کنترل خاصی وجود ندارد. در تالاب های مصنوعی انسان شرایطی را برای رشد گیاهان فراهم می آورد و گیاهان ریشه در خاک داشته و کنترل بهتری بر شرایطی از قبیل زمان ماند، نوع گیاه و نوع بستر دارد. این سامانه به دو دسته کلی سطحی و زیرسطحی تقسیم می شود که در نوع سطحی، سطح جریان سیال روی بستر خاک است و در نوع زیرسطحی، سطح سیال زیر بستر شن است و همچنین نوعی دیگر از تالاب های مصنوعی با جریان زیرسطحی به نام تالاب های مصنوعی

بحث قرار گرفته است. فاضلاب تصفیه شده و آب باران استحصال یافته قابلیت استفاده در آبیاری برای کشاورزان و یا باغبانی و کاربردهای عمومی شهری را دارا می باشند. تالاب های مصنوعی با طراحی مناسب توانایی تولید آب با معیارهای استاندارد برای اهداف بازیافت آب و پساب را دارند. تمرکز این مقاله بر هدف اصلی تالاب های مصنوعی برای تصفیه غیر متمرکز رواناب و فاضلاب در مناطق شهری با مفهوم شهر ایده آل محیط زیست می باشد. این راهکار جامع که بخش عمده ای از تحقیقات مهندسی و محققین را به خود اختصاص داده است دارای ابعاد تحقیقاتی متفاوتی بوده و روز به روز این ابعاد به سمت بهینه تر شدن جهت کاربرد در سامانه های تصفیه پساب حرکت می کند.

۲- تالاب مصنوعی

از سامانه های تصفیه طبیعی و سازگار با محیط زیست، تالاب های مصنوعی هستند که هزینه ساخت و بهره برداری پایین تری نسبت به دیگر سامانه های تصفیه دارا می باشند. در تالاب های مصنوعی^۱ به دلیل الهام گیری از طبیعت، فرآیندهای بیولوژیکی تالاب های طبیعی برای حذف آلاینده ها صورت می گیرد. تالاب های مصنوعی سازه هایی کم عمق هستند که از ذرات با دانه بندی مشخص پر می شوند. این ذرات عموماً شن و ریگ می باشند. همچنین در این سامانه گیاهان مقاوم به شرایط اشباع کشت می شوند. پساب به این سامانه وارد شده و به صورت سطحی یا زیرسطحی درون آن جریان یافته و سرانجام توسط خروجی های مشخصی خارج می گردد. سامانه های تالاب های مصنوعی دارای پنج بخش اصلی (۱) استخر (محل حرکت جریان) (۲) محیط متخلخل (نوع دانه بندی فیلتر) (۳) گیاهان (۴) پوشش استخر (عایق سازی جریان) (۵) نحوه آرایش ورودی ها و خروجی ها می باشد [۵].

¹ Constructed wetland

جریان زیرسطحی عمودی

تالاب‌های مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی دارای بستر صافی از شن و ریگ هستند (شکل ۳). فاضلاب از سطح به صورت عمودی به درون سامانه و به آرامی تغذیه شده و سپس توسط شبکه زهکشی در کف تخلیه می‌گردد. در این تالاب‌ها آب به صورت متناوب بر روی سطح بزرگی پخش می‌شود. همچنین مجرای تخلیه امکان ورود هوا به درون سامانه و بستر را امکان‌پذیر می‌نماید. ورود هوا و در نتیجه اکسیژن به داخل سامانه امکان فرآیندهای هوازی را برای نیتریفیکاسیون فراهم می‌آورد.

جریان ترکیبی

کارکرد سامانه‌های تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در حذف BOD و TSS از پساب اثبات شده است اما برای عمل نیتریفیکاسیون (از مراحل چرخه حذف نیتروژن) کارایی مناسب نداشته که دلیل آن نرخ انتقال اکسیژن پایین است. به همین خاطر از تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی استفاده می‌شود تا بتوان به میزان اکسیژن بالاتری دست یافت. با این وجود، این سامانه‌ها نیز دارای محدودیت‌هایی شبیه به عدم کارکرد مناسب برای حذف ذرات جامد و مشکل گرفتگی در صورت انتخاب نوع دانه‌بندی نامناسب ذرات محیط متخلخل می‌باشند. بدین خاطر ترکیبی از تالاب‌های با جریان زیرسطحی افقی و عمودی به طور فزاینده‌ای رو به گسترش می‌باشد. در این سامانه معایب دو نوع قبلی توسط یکدیگر جبران می‌شوند. ترتیب قرارگیری مدل افقی و عمودی به هدف تصفیه وابسته است.

همچنین تکنولوژی جدید تالاب مصنوعی زیرسطحی استفاده از سامانه هوادهی از کف می‌باشد. این تکنولوژی سبب افزایش انتقال اکسیژن و تکمیل فرآیندهای هوازی خواهد شد. این سامانه قادر به تصفیه فاضلاب‌های صنعتی نیز

هیبریدی شناخته می‌شوند که جریان در آن‌ها به صورت ترکیبی از جریان افقی و عمودی است [۷].

۱-۲- انواع سامانه‌های تالاب مصنوعی

همانطور که بیان شد، تالاب مصنوعی دارای سه نوع مدل طراحی (جریان سطحی آزاد، زیرسطحی افقی و زیرسطحی عمودی) هستند که تمرکز سامانه‌های تالاب مصنوعی برای تصفیه پساب بر مدل جریان زیرسطحی می‌باشد.

جریان سطحی

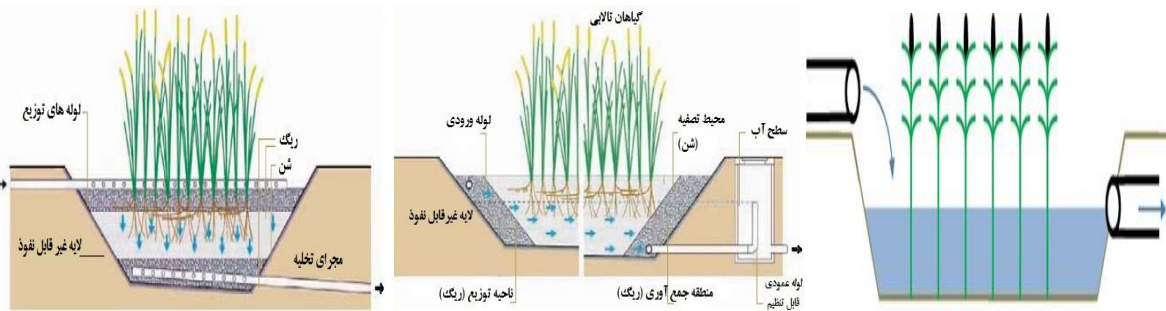
در این مدل، آب توسط نیروی ثقل در سطح زمینی رسی با نفوذپذیری کم گسترش می‌یابد (شکل ۱). در این تالاب‌ها ۸۰ درصد مواد جامد معلق در دو روز اول حذف می‌شوند. زمان ماند در این واحدهای با جریان آب آزاد باید کمتر از ۲-۳ روز باشد تا از رشد جلبک‌ها جلوگیری شود [۸].

جریان زیرسطحی افقی

شکل ۲ مقطع جریان زیرسطحی افقی در سامانه‌های تالاب مصنوعی را نمایش می‌دهد. در این حالت، پساب از طریق لوله ورودی به سامانه تغذیه شده و به آرامی از درون محیط متخلخل عبور کرده تا به محل خروجی برسد. در این گذار، پساب با شبکه‌هایی از محیط‌های هوازی و بی‌هوازی برخورد می‌کند. محیط هوازی در نزدیکی ریشه گیاهان به دلیل انتقال اکسیژن از ریزوم‌های گیاهان به محیط داخلی و در لایه سطحی تالاب موجود می‌باشد. به همین دلیل هنگام عبور پساب از منطقه هوازی، توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و تجزیه بیولوژیکی مورد تصفیه قرار می‌گیرد [۹]. این نوع سامانه‌های تالابی دارای توانایی بسیار بالایی برای حذف مواد آلی و رسوبات معلق می‌باشند (TSS, COD, BOD).

بود. رویکرد تالاب مصنوعی پتانسیل بالایی برای جانمایی منطقه‌ای در مناطق شهری را دارد.

است. همچنین با این روش فضای کمتری اشغال شده و امکان توسعه آن به خصوص در مناطق شهری به مراتب بیشتر خواهد



شکل (۱) تالاب مصنوعی سطحی شکل (۲) تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی شکل (۳) تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی

۲-۲- عملکرد سامانه‌های تالاب مصنوعی

جامدات معلق که در مرحله ابتدایی تصفیه حذف نشده‌اند، به وسیله فیلتراسیون و رسوب گذاری در تالاب مصنوعی حذف می‌شوند. ذرات در محیط متخلخل گرفتار شده و یا توسط انقباض جریان دچار تغییر شکل خواهند شد. ترکیبات آلی توسط فرآیندهای بیولوژیکی به صورت هوازی و غیرهوازی قابلیت تجزیه دارند.

سامانه تالاب مصنوعی ترکیب پارامترهای مختلفی مانند فاضلاب، ذرات محیط متخلخل، گیاهان و مجموعه‌ای از انواع میکروارگانیسم‌ها به خصوص باکتری‌ها می‌باشد که بررسی فرآیند عملکرد آن را پیچیده می‌سازد. گیاهان نقش حیاتی در ایجاد محیط مناسب برای رشد میکروبی و در نتیجه عملیات تصفیه بازی می‌کنند. عملیات حذف آلاینده‌ها طی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی صورت می‌گیرد. فرآیند حذف آلاینده‌ها به وسیله این سامانه در جدول ۱ بیان شده است [۸].

۳- رویکرد توسعه کم تأثیر (LID)^۱

توسعه کم تأثیر به عنوان یک برنامه جامع مدیریت مناطق شهری و رویکرد طراحی با هدف حفاظت و ارتقا حوزه آبخیز شهری صورت می‌گیرد. این رویکرد به ویژه برای مدیریت رواناب شهری استفاده می‌شود [۱۰]. رویکرد LID برای حفظ و توسعه محیط‌زیست و کاهش اثرات پدیده‌های زیست‌محیطی استفاده می‌شود. این رویکرد به دنبال مهار رواناب و تصفیه آن برای استفاده دوباره و در حقیقت تولید یک منبع آب دیگر است. این مدیریت در راستای این هدف، طرح‌هایی را تدوین و توسعه داده است که یکی از بزرگترین و مؤثرترین آن‌ها، استفاده از سامانه‌های استحصال آب باران است. برنامه‌های توسعه یافته در این رویکرد شامل موارد ۸ مورد اصلی ذیل می‌شوند [۱۱]. در اغلب این روش‌ها، در ابتدا

جدول (۱) روش‌های حذف آلاینده‌ها در تالاب مصنوعی

روش حذف	ترکیبات فاضلاب
رسوب گذاری و فیلتراسیون	جامدات معلق
تجزیه میکروبی هوازی و غیرهوازی	مواد آلی محلول
جذب ماتریسی و جذب گیاهی	فسفر
تولید آمونیاک پس از نیتریفیکاسیون میکروبی، تجزیه نترات یا دنیتریفیکاسیون، جذب ماتریسی، جذب گیاهی، تبخیر آمونیاک و معمولاً در سامانه‌های سطحی	نیتروژن
جذب و تبادل یونی، کمپلکس، رسوب، جذب گیاهی و اکسایش / کاهش میکروبی	فلزات
رسوب گذاری و فیلتراسیون، مرگ طبیعی، تابش فرابنفش معمولاً در سامانه‌های سطحی و تغذیه برای دیگر ارگانیسم‌ها	عوامل بیماری زا

¹ Low Impact Development

۴- تالاب مصنوعی برای مدیریت و تصفیه آب باران

روز به روز توجه به سمت مدیریت آب باران به علت کمبود آب، رخدادهای بارندگی شدید و سیلاب‌ها به دلیل سطوح غیرقابل نفوذ شهری افزایش یافته است. روش‌های مختلفی برای مدیریت آب باران وجود دارد که از این قبیل می‌توان به مخازن ذخیره آب باران، تانک‌های پیش تصفیه و اخیراً کاهش شار جریان در نقطه ورودی مانند مسیرهای متخلخل و سقف‌های با پوشش گیاهی و همچنین روش‌های دیگر مانند مخازن نفوذ و تالاب‌ها اشاره نمود [۱۲].

مدیریت مناسب آب باران برای طراحی سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب از اهمیت بالایی برخوردار است. در بیشتر مناطق شهری، سامانه‌های معمول تصفیه فاضلاب دچار ضعف در تقابل با جریان آب باران اضافی می‌باشند که نتیجه آن به آب‌گرفتگی معابر منجر می‌شود. بر این اساس سامانه تالاب مصنوعی غیرمتمرکز به صورت روشی ترکیبی با کاهش حجم جریان ورودی در نقطه ریزش باران و با قدرت تصفیه بالا سبب رفع مشکل سرریز شدن آب و مسائل زیست‌محیطی دیگر می‌شود. علاوه بر این، سامانه‌های تالاب مصنوعی با ایجاد فضای سبز و زیبا در شهر سبب ایجاد اقلیم کوچک و مکان زندگی انواع موجودات شده و به تعدیل دمای هوای شهر (کاهش اثرات UHI) کمک خواهد نمود. دو رویکرد مدیریت آب باران با استفاده از تالاب مصنوعی به صورت زیر خواهد بود [۱۳].

۱) مدیریت آب باران محض با تالاب مصنوعی

به سامانه‌ای که تنها منبع دریافت آب در آن آب باران بوده، سامانه آب باران محض گفته می‌شود. آب باران توسط سامانه مجزا فاضلاب جمع‌آوری می‌شود. این سامانه گاهی به دلیل عدم ظرفیت کافی و توسعه سطوح غیرقابل نفوذ در

رواناب مهار شده و پس از تصفیه، مورد بازیابی و استفاده مجدد قرار می‌گیرد. اجرایی ساختن این روش به توسعه هیدرولوژی و زیست‌محیط حوزه آبخیز شهری کمک شایانی می‌نماید.

نمونه‌ای از عملیات پیشنهادی در مدیریت کم‌تأثیر یک سامانه جمع‌آوری آب باران مسکونی در شکل ۴ نشان داده شده است.

۱) سامانه‌های جمع‌آوری آب باران مسکونی

۲) پشت‌بام سبز^۱

۳) ایجاد منطقه نفوذ رواناب (چاه و ترانشه)^۲

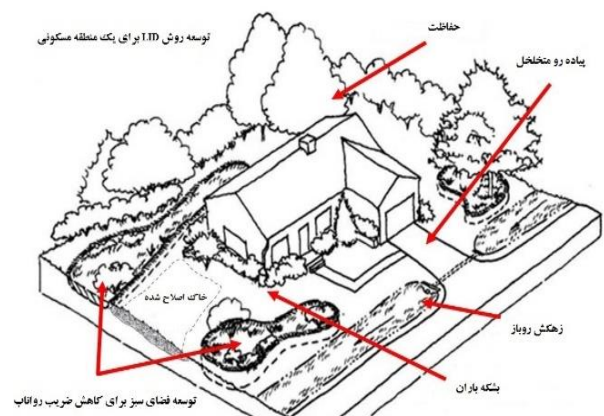
۴) عبور رواناب از منطقه کشت شده از گیاه و نفوذ آن در زمین و نهایتاً جمع‌آوری رواناب تصفیه شده به وسیله زهکش زیرزمینی^۳

۵) عبور رواناب از حاشیه سبز ایجاد شده به هدف کاهش آلودگی و تصفیه اولیه^۴

۶) مدیریت فاضلاب شهری با ایجاد پیاده‌روهای با قابلیت نفوذ آب^۵

۷) آبراهه‌ها و جوی‌های با پوشش گیاهی^۶

۸) شبکه لوله‌های زهکشی در زیر جاده‌ها به هدف جمع‌آوری و انتقال رواناب^۷



شکل (۴) رویکرد LID در مقیاس کوچک مسکونی

⁵ Permeable pavements

⁶ Swales

⁷ Perforated pipe systems

¹ Green roofs

² Soakaways and infiltration basins/trenches

³ Bioretention

⁴ Vegetated filter strips

برای مدیریت آب باران، طرح سامانه تالاب مصنوعی با ارائه مزیت های فراوان در اولویت قرار می گیرد.

۲) استفاده از تالاب مصنوعی برای تصفیه سرریز فاضلاب ترکیبی (CSOs)^۱

همانطور که قبلا گفته شد، سرریزهای آب باران از مهمترین مسائل پیش روی واحدهای تصفیه معمول فاضلاب است. در طول رخدادهای شدید بارندگی، جریان های اضافی به عنوان سرریز به نواحی دیگر بدون تصفیه منحرف می شوند. در نتیجه نیاز به ساخت واحد تصفیه به مراتب بزرگ تر و یا استفاده از شبکه لوله کشی وسیع خواهد بود که نتیجتا به صرف هزینه هنگفت می انجامد. بنابراین، سرریز جریان نه تنها باید مدیریت شود بلکه نیازمند تصفیه قبل از رهاسازی در محیط زیست را دارد. از کاربردی ترین، اقتصادی ترین و سازگارترین روش های محیط زیستی می توان به استفاده از تالاب های مصنوعی زیرسطحی عمودی نام برد. سرریز حاصل از آب باران در مراکز تصفیه دارای غلظت بالایی از نیترژن و کربن در مقایسه با جریان های آب و هوای خشک نبوده زیرا توسط هرزآب ها رقیق می شوند. اما در مقایسه با رواناب های سطحی در سامانه های فاضلاب و آب های سطحی بسیار آلوده می باشند. استفاده از تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی سبب تنظیم نرخ جریان ورودی در سامانه می شود. بدین منظور طرح جدیدی در فرانسه با در نظر گیری حداکثر رخداد بارندگی و برای آب خام بدون هیچ گونه پیش تصفیه در سال ۲۰۱۰ ایجاد شد. بعد از گذشت ۶ سال، نتایج طرح در حذف آلاینده ها بسیار مناسب بود. سامانه مذکور نشان داده است که توانایی حذف آلاینده های کوچک مقیاس هم از گروه فلزات و هم ترکیبات هیدروکربنی آروماتیک را دارد. براساس گزارش این طرح، حذف فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، نیکل و سرب و همچنین

مناطق شهری دچار مشکلاتی می شود. بنابراین گزینه های مختلفی به منظور ایجاد سطوحی با پوشش گیاهی و به صورت قابل نفوذ مانند سقف و دیوارهای قابل نفوذ، تالاب و مخازن ذخیره به منظور نگه داری آب باران اضافی توسعه یافته است (۸ مورد مطرح شده در رویکرد LID). همانطور که گفته شد، تالاب های مصنوعی با جمع آوری آب باران سبب ترغیب رشد و توسعه گونه های جانوری و کاهش اثرات گرمای شهر می شوند. این روش به عنوان کاربردی ترین اصل توسعه کم تأثیر (LID) شناخته شده است زیرا علاوه بر حفاظت محیط زیست سبب تولید فضای سبز شهری با استفاده از فرآیندهای کاملا سازگار با طبیعت می شود [۱۴].

تالاب های مصنوعی طراحی شده برای استفاده آب باران در کشور فرانسه مورد استقبال بالایی قرار گرفته است. آب بارانی که در محیط نگه داشته شود سبب تعدیل اقلیم منطقه می شود که دلیل آن را می توان در ظرفیت گرمایی بالای آب نسبت به خاک و اثرات خنک سازی محیط با تبخیر و تعرق جستجو نمود. به عنوان نمونه پارک Ouagadougou در کشور فرانسه سال ۲۰۰۸ افتتاح شد. این پارک دارای وسعت یک هکتار بوده و در آن انواع روش های مدیریت آب باران اعم از زهکشی آب سطحی، تصفیه رواناب با فیلترهای بستر، ذخیره آب، آبیاری باغات و ایجاد ناحیه تالابی با ملاحظات سیلاب طرح منطقه استفاده شده است [۱۳]. علاوه بر این آب در سراسر پارک گردش کرده و باعث ایجاد منظره زیبا و جذاب نیز شده است.

برخی از اصول مدیریت آب باران با ایجاد سطوح نفوذپذیر توسط ساختارهای سبز مانند سقف های با پوشش گیاهی بدست می آیند. کاربرد این روش سبب ایجاد منظره ای زیبا، توسعه اکوسیستم و کاهش اثرات گرمایش شهری شده و تولید رواناب کمتر می شوند. در بین روش های مؤثر LID

¹ Combined sewage overflow treatment

را داشته و با پالایش و کاهش آلودگی آن با استفاده از سامانه‌های تصفیه طبیعی مذکور اعم از تالاب مصنوعی می‌توان به بازیافت آب و افزایش فضای سبز شهری پرداخت. استفاده از تالاب‌های مصنوعی به ویژه برای مراکز شهرها روش مناسبی برای کنترل رواناب و استفاده مجدد از آن به صورت غیرمتمرکز در نقاط مختلف سطوح شهری است. با این تفاسیر نیاز است که کشور ایران نیز در این زمینه گامی بلند برداشته و با تهیه دستورالعمل طراحی سامانه تالاب مصنوعی در جهت کنترل و مدیریت رواناب برآید. این رویکرد همسو با حفاظت محیط‌زیست در جهت کاهش فشار بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی عمل می‌کند.

بر اساس نتایج پژوهش انجام شده در تالاب مصنوعی ساخته شده در اصفهان به وسیله سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، یک سامانه تالابی به عنوان گزینه تصفیه پیشرفته برای فاضلاب ترکیبی در مقایسه با سامانه‌های تصفیه پیشرفته متعارف، هزینه‌ای در حدود یک-سوم آن را داشته و این در حالی است که سامانه تالاب علاوه بر مزیت اقتصادی و عدم دشواری در بهره‌برداری نسبت به سامانه‌های صنعتی، مزایایی چون راندمان تصفیه بالا، به ویژه در مورد آلاینده‌های آلی تجزیه‌ناپذیر و هورمونی، تحمل نوسانات در جریان و غلظت آلاینده‌ها، تصفیه هوا به سبب افزایش پوشش سبز، کنترل سیلاب و رواناب، تسهیل در استفاده مجدد از آب و بازیافت آن، استفاده از باقی‌مانده گیاهان در تولید فیبر و مصنوعات چوبی، هماهنگی با فضای سبز، ایجاد بومی برای گیاهان و حیوانات، زیبایی محیط‌زیست، فراهم کردن فرصت‌های تفریحی و آموزشی، سازگار با محیط‌زیست و قوانین تصویب شده توسط مجامع عمومی و آژانس‌های نظارتی و کاهش قابل ملاحظه مصرف انرژی در مقایسه با سامانه‌های دیگر می‌باشد

۱۱ هیدروکربن آروماتیک رخ داده است. از طرف دیگر، سه ترکیب حل‌شده معمول در رواناب شامل بنزول، پیرنه^۲ و نفتالین^۳ با راندمان ۹۵-۹۰ درصد حذف شدند [۱۳].

در مقایسه با سامانه‌های تصفیه فاضلاب معمول شامل فیلترهای شنی، لجن فعال، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس و روش‌های ضد عفونی شامل ازن‌زنی، پرتو فرابنفش و کلرزنی، گزینه مناسبی مانند تالاب مصنوعی با صرف انرژی و هزینه کمتر و سازگار با محیط‌زیست دارای کارایی مناسبی برای تصفیه مرتبه سوم فاضلاب و استفاده برای مقاصدی همچون آبیاری همگام با قوانین محیط‌زیست است.

۵- بحث

با گسترش شهرنشینی و روند رو به رشد آن، با وقوع هر بارش و تولید رواناب، معابر شهری دچار آب‌گرفتگی می‌شوند. با توجه به سطوح زیاد معابر شهری و پوشش غیر قابل نفوذ، در هر نوبت بارش حجم قابل توجهی رواناب تولید شده که در صورت عدم استفاده به سرعت در مسیر زهکش‌های شهری آلوده شده و از دسترس خارج می‌شوند. تحقیقات نشان داده است که حداقل پوشش گیاهی از نظر کنترل سیلاب ۴۰ درصد است و چنانچه منطقه‌ای دارای ۷۰ درصد پوشش گیاهی باشد قادر به نفوذ ۹۸ درصد از باران به درون زمین خواهد بود و لذا مناطق پائین دست شهری، سیلابی را تجربه نخواهند کرد و در صورت تخریب مراتع و کاهش پوشش گیاهی آن به کمتر از ۲۰ درصد میزان رواناب سطحی به میزان ۳۶ برابر افزایش خواهد یافت و به عبارت دیگر ۷۴ درصد از ارتفاع باران در زمین نفوذ نمی‌کند و وقوع سیلاب در نقاط شهری بسیار محتمل خواهد بود [۱۵]؛ در حالی که رواناب به راحتی با استفاده از روش‌های معرفی شده در رویکرد LID قابلیت استفاده مجدد

³ Naphtalene

¹ Benzo

² Pyrene

گرمایش شهری کمک مناسبی برای حفاظت محیط زیست و کاهش فشار بر منابع آب های سطحی و زیر سطحی می باشد. تالاب مصنوعی برای سرریز فاضلاب ترکیبی با هزینه کم سبب جلوگیری از تخلیه سرریز سامانه های تصفیه فاضلاب به محیط زیست خواهد شد. همچنین تالاب مصنوعی خود به عنوان مخزنی در طول فصل بارانی سبب نگهداشت و تصفیه فاضلاب به روش طبیعی و بدون صرف انرژی می شود. طرح مهندسی سامانه تالاب مصنوعی از جمله روش های کاربردی برای مدیریت آب و آب باران برای جلوگیری از تخلیه به فاضلاب در مناطق شهری بوده و سبب بازیافت آب می شود.

۷- مراجع

[1] دانشگاه تهران، طرح کلان ملی دانش و فناوری بازیافت پساب های شهری، صنعتی و کشاورزی، فاز صفر، ۱۳۹۲، تهران، ایران.

[2] شرکت مهندسی مشاور جاماب، طرح مطالعات برنامه سازگاری با اقلیم خشک و نیمه خشک، گزارش آب مرود نیاز شهری و روستایی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۳.

[3] Duchene P, One hundred years of wastewater treatment processes, *Technique Science Methods*, 11, 2005, pp. 35-44.

[4] Eslamian S.S., Okhravi, S.S. and Reyhani, M.N., "Urban Water Reuse: Future Policies and Outlooks", Chapter 84, in "Urban Water Reuse Handbook", edited by S. Eslamian, Taylor and Francis, CRC Group, USA, 2015, pp. 1107-1114.

[5] اخروی، س.س، بررسی توزیع جریان بر رفتار هیدرولیکی و راندمان تصفیه تالاب مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، ۱۳۹۳، اصفهان، ایران.

[6] Eslamian S.S. and Tarkesh Esfahani, S., *Industrial reuse of urban wastewaters, a step towards sustainable development of water resources*, 1th international conference on

[۱۶]. همچنین منافع حاصل از کاهش هزینه تصفیه و دفع فاضلاب و نیز رشد بهره وری کشاورزی به خوبی سرمایه گذاری برای استفاده مجدد از پساب در عرصه کشاورزی را نیز توجیه می کند. به عنوان نمونه تجربیات سایر کشورها نشان داده است که استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری گزینه ای بسیار جذاب برای کشاورز بوده حتی اگر خود کشاورز متحمل هزینه تصفیه شود. به خصوص این امر در مناطقی که آب سهل الوصول دیگری ندارد و زمین های مزرعی پهناوری در مجاورت منبع پساب است، سبب اشتیاق سرمایه گذاری کشاورزان در استفاده مجدد از پساب است. این مورد حقیقتاً مزیت منطقه ای بودن سامانه تالاب مصنوعی جهت تصفیه پساب های نامتمرکز از قبیل پساب یک واحد صنعتی کوچک یا متوسط و یا برطرف سازی نیاز کشاورز را نشان می دهد. بنابراین لازمه اجرای موفقیت آمیز هر گونه پروژه بهره برداری از پساب آن است که پس از تدوین دستورالعمل ها، قوانین و مقررات و همچنین ایجاد زیرساخت های لازم و پیش از عملیاتی نمودن آن و حتی به موازات اجرای آن، برنامه های مفصل و ویژه ای با هدف آموزش عمومی جامعه و اطلاع رسانی گسترده در جهت شفاف ساختن واقعیت ها تدوین و اجرا شوند.

۶- نتیجه گیری

سامانه های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز به عنوان مکمل سامانه های متمرکز به خصوص در زمان افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی به صورت مؤثر واقع می شوند. سامانه های تالاب مصنوعی به عنوان سامانه های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز همگام با توسعه کم تأثیر (LID) با مزایای فراوان به صورت کاربردی برای دستیابی به هدف استفاده درجا در محل مطرح می شود. تالاب مصنوعی با ایجاد محیط زیست مؤثر با افزایش تنوع گونه های جانوری و کاهش اثرات

پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵، ۱۳۸۷، ۲، ۲۴۱-۲۲۷.

[16] ترکش اصفهانی، ص، مطالعه راندمان سیستم تالاب مصنوعی هیبرید اصفهان در تصفیه‌خانه شرق اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ۱۳۹۲، تهران، ایران.

desalination and environment: A water summit, beach rotana, 2011, 29 October, abu dhabi.

[7] اخروی س.س.، اسلامیان س.س.، فتحیان‌پور ن و حیدرپور، م.، بررسی توزیع جریان بر زمان ماند و رفتار هیدرولیکی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی (مطالعه موردی: اصفهان). مجله علمی پژوهشی علوم آب و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۹، ۱۳۹۴، ۷۴، ۱۰۰-۸۹.

[8] UN-HABITAT, *Constructed Wetlands Manual*, UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, 2008, Kathmandu.

[9] Cooper P.F., Job G.D., Green M.B. and Shutes, R.B.E., *Reed beds and constructed wetland for wastewater treatment*", WRc Swindon, 1996, UK.

[10] Younos T. and Lawson S, *Rainwater Harvesting: A Holistic Approach for Sustainable Water Management in Built Environments*. 2011 Low Impact Development Symposium, 2011, Philadelphia.

[11] Okhravi S.S., Eslamian S.S. and Adamowski, J, "Water Reuse in Rainwater Harvesting", Chapter 59, in "Urban Water Reuse Handbook", edited by S. Eslamian, Taylor and Francis Group, CRC Press, 2015, USA, pp. 787-804.

[12] اسلامیان س.س. و اخروی س.س.، اصول طراحی سیستم‌های استحصال آب باران (کاربرد مسکونی)، انتشارات کنکاش، ۱۳۹۴، ۲۸۴ صفحه.

[13] Dou T., Troesch S., Petitjean A., Gabor P.T. and Esser D, Wastewater and rainwater management in urban areas: A role for constructed wetlands, *Procedia Environmental Sciences*, 37, 2017, pp. 535-541.

[14] اسلامیان س.س.، ملکیان جلیلی م و اخروی س.س. استحصال آب باران به عنوان مؤثرترین روش LID برای مقابله با تغییرات اقلیمی کفرانس بین‌المللی توسعه پایدار با محوریت کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری، ۱۳۹۴، ۲۶-۲۵ شهریور ماه، تبریز، ایران.

[15] دادرسی سبزواری و خسرو شاهی م، شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب به روش کاربرد مدل‌های مفهومی (راهکاری برای مهار بیابان‌زایی). فصلنامه علمی-

Wastewater and Rainwater Management in Urban Areas Considering Constructed Wetland Approach

Saeid Eslamian¹, Saeid Okhravi^{2*}, Yaghoub Karimi³

*Corresponding author S.okhravi94@basu.ac.ir

Abstract

Lower space requirement, simple operation and economical aspects as well as landscape irrigation make decentralized natural sanitation systems necessary in eco-city construction. This paper focuses on water management through natural and alternative solutions in urban and peri-urban areas. Results and efficiency of wastewater by decentralized constructed wetland systems, intelligent storm water management and reuse of treated water in urban irrigation are discussed. Several full scale example are presented regarding to their removal efficiency and environmental benefits. Their contribution in climate change mitigation is presented as necessity in today's eco-city conception.

Keywords

Rainwater, Constructed wetland, Low impact development, Runoff, decentralized treatment systems, Urban areas

¹ Professor, Dept. of Water Engineering, Isfahan University of Technology, 84156-83111, Isfahan, Iran

² PhD Candidate, Dep. of Water Structures Engineering, Bu-Ali Sina University, 65178-38695, Hamadan, Iran

³ PhD Candidate, Dep. of Water Resources Engineering, Bu-Ali Sina University, 65178-38695, Hamadan, Iran