



مدیریت آب باران با توسعه سیستم‌های یکپارچه زیست و غیرزیست نگهدار مبتنی بر طبیعت

چکیده

در جهان، پژوهش‌های مرتبط با راهکارهای مبتنی بر طبیعت (Nature-based Solutions: NbS) به سرعت در حال توسعه است. NbS در مناطق شهری در کنترل دما، توسعه اکوسیستم و مدیریت منابع آب نقش دارد. امروزه که استفاده از منابع آب به چالش کشیده می‌شود تحلیل مزایای NbS برای چرخه آب شهری بسیار حیاتی است. چرخه آب شهری نه تنها شامل استخراج آب برای مصرف شهری است، بلکه شامل بازگشت آب به طبیعت و استفاده مجدد از آب و مدیریت آب سیلاب است. NbS عامل کلیدی در بهبود پایداری و انعطاف‌پذیری شهری در مواجهه با چالش‌های اقلیمی آینده است. بام‌های سبز از موثرترین راه‌های مقابله با گرم شدن زمین می‌باشد که با افزایش سطح فضای سبز در شهرها همراه است. این مقاله در حوزه NbS می‌باشد و اطلاعات و نتایج مهمی در این زمینه منتشر شده‌اند که می‌توان به منافع و پیچیدگی‌های متنوع آن‌ها پرداخت.

واژه‌های کلیدی: بام سبز، سطوح نفوذپذیر، زیست‌نگهداری، حوضه‌های نفوذ، مدیریت آب

۱- مقدمه

توسعه شهری و افزایش ناشی از آن در ناحیه‌های نفوذپذیر، چرخه آبی شهرهای پرجمعیت را تغییر داده و باعث ایجاد پیامدهای منفی قابل توجه برای اکوسیستم‌های شهری شده است [۱]. این افزایش جمعیت سبب ایجاد تغییرات در ویژگی‌های معماری و فضاهای سبز شهری شده، در نتیجه بر مدیریت آب به صورت کمی و کیفی تأثیرگذار بوده زیرا موجب کاهش گیاهان که ناحیه‌های نفوذ طبیعی باران در سیستم‌های آب زیرزمینی هستند شده و در نهایت منجر به افزایش جریان آب به سمت سیستم‌های زهکشی سنتی گردیده است [۱]. تغییرات در شکل زمین نه تنها بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، بلکه باعث تجمع آلاینده‌ها در آب سیلابی از مناطق نفوذناپذیر می‌شود [۲]. تمامی این تغییرات در بافت شهری، به همراه تغییرات اقلیمی کنونی، باعث آسیب‌پذیری بیشتر مراکز شهری در برابر سیلاب و خشکسالی می‌شود [۲]. پیش‌بینی‌های تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که رویدادهای بارشی با شدت و فراوانی بیشتری رخ خواهند داد و این امر فشار بیشتری را بر جمعیت شهری و مدیریت آب سیلابی اعمال خواهد کرد [۳] و در نتیجه، نیاز به سازگارسازی مناطق شهری با این پیامدها با استفاده از تکنیک‌های مرتبط با مدیریت مناطق شهری و مقابله با تغییرات محیطی برای دستیابی به شهرهایی پادارتر و انعطاف‌پذیرتر افزایش خواهد یافت.

سیستم‌های مدیریت آب سنتی، بر روی حمل و نقل و زمان‌بندی در انتهای سیستم‌های فاضلاب تمرکز دارند. چندین سیستم زهکشی شهری سنتی برای مدیریت آب سیلاب و زهکشی در شهرها، مانند سطوح سیمانی (خیابان‌ها، پارکینگ‌ها، پیاده‌روها) وجود دارد [۴].



اما این سیستم‌های زهکشی شهری سنتی جهت مواجهه با جریان آب سیلاب کافی نیستند. هنگامی که رویدادهای بارشی شدیدی رخ می‌دهد ظرفیت زهکشی را بیش از حد بالا برده و باعث بروز سیلاب شهری، آسیب محیط‌زیستی و اقتصادی مرتبط با آن می‌شود. علاوه بر این، سیستم‌های زهکشی سنتی در شهرهای پرجمعیت هزینه‌های بالایی دارند [۴]. به همین دلیل، نیاز به مدیریت موثرتر آب باران در نتیجه مدیریت کیفیت آب شده که خود سبب کاهش سیلاب شهری، بهبود محیطی پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر می‌شود [۵]. زیرساخت سبز شهری، به عنوان راهکارهای مبتنی بر طبیعت بوده و به عنوان "فعالیت‌هایی برای حفاظت، مدیریت پایدار و بازسازی اکوسیستم‌ها برای مواجهه با چالش‌های اجتماعی به روشی مؤثر که هم به بهبود رفاه انسانی و هم بهره‌برداری از تنوع زیستی منجر می‌شود" شناخته می‌شود [۶]. زیرساخت سبز یا تکنیک‌های NbS با هدف حفظ عملکرد مناطق طبیعی (از نظر کیفیت و کمیت آب) و استفاده از آب باران به عنوان منبع جایگزین آب آشامیدنی در جهت بهبود مدیریت آب سیلاب در حال توسعه و اجرا هستند [۷]. در نتیجه، NbS پاسخ‌های کارآمد و پایدارتر از روش‌های سنتی مدیریت آب، که به کاهش خطر بروز فاجعه، ایمنی آب و انعطاف‌پذیری شهری مربوط می‌شوند را ارائه می‌دهد [۸].

تکنیک‌های NbS تداعی چرخه هیدرولوژیک طبیعی هستند زیرا به بارش باران پاسخ می‌دهند و سبب افزایش نفوذ، جریان آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق شده و در نتیجه سبب کاهش سیلاب‌ها می‌شوند [۹]. علاوه بر این، استفاده از NbS در مناطق ساختمانی، سبب کاهش فشار روی زیرساخت‌های قدیمی رواناب (مانند شبکه‌های انتقال آب)، کاهش اندازه سیستم‌های انتقال رواناب و هزینه‌های مرتبط با آن شود [۱]. به طور کلی، تکنیک‌های NbS به منظور کنترل آب سیلاب طراحی شده تا میزان نفوذناپذیری مناطق شهری را کاهش دهند. با این حال، هنگام رویدادهای بارشی شدید، NbS به تنهایی برای کاهش سیلاب کارآمد نیست، اما اتصال آن‌ها به سیستم‌های خاکستری سنتی سبب کاهش سیلاب‌ها در هنگام بارش‌های با شدت متوسط و پایین‌تر می‌شود [۱۰]. اتصال زیرساخت‌های سبز به سطوح سنتی کمک فراوانی به کاهش حجم جریان سیلاب از مناطق سطح بالاتر داشته است [۱۱].

اجرای راهکارهای مبتنی بر طبیعت به منظور مدیریت آب باران به‌طور مؤثر و بهینه با توجه به دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوطه صورت می‌گیرد. NbS طبق دستورالعمل چارچوب آبی اتحادیه اروپا [۱۲]، به منظور مدیریت بهینه بارش آب، آب باران باید از طریق نفوذ به زیر زمین ذخیره شود [۱۳]. علاوه بر این، این روش نیز به دستاوردهای اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد تا سال ۲۰۳۰ کمک می‌کند. این اهداف شامل سازگاری و پایداری شهرها و کاهش تغییرات اقلیمی است. بنابراین، اهمیت اجرای روش‌های زیستی مبتنی بر طبیعت جهت مدیریت آب را می‌توان به چهار نکته کلیدی زیر خلاصه کرد: ۱- ذخیره آب باران و استفاده محلی از آن در جایی که سرازیر شده است ۲- کاهش رواناب سطحی به سیستم زهکشی ۳- کمک به تبخیر آب و کاهش اثرات جزیره حرارتی شهری (UHI) ۴- بهبود کیفیت آب سیلاب. سازمان (سازمان مدیریت بحران فدرال) [۱۴] بیان می‌کند که رویکردهای اجرای NbS متنوع است. بنابراین، در طراحی NbS، باید به عوامل مختلفی (مانند اقلیم محلی، فضای قابل دسترسی یا نیازهای نگهداری) توجه شود. همچنین، تفاوت در طراحی و ساخت این روش‌ها عوامل مهمی هستند که سطح منافع مورد نظر را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۱]. سازمان FEMA [۱۵] روش‌های NbS را بر اساس مقیاس اجرا و محل استقرار آن‌ها دسته‌بندی می‌کند: ۱- مقیاس منطقه: روش‌های بزرگ مرتبط با مناطق طبیعی که نیاز به زمان طولانی برای توسعه و مدیریت دارند. ۲- مقیاس محله یا سایت:

معادل انگلیسی در پاورقی: [A1] Commented

¹ - CEFR

² - FEMA

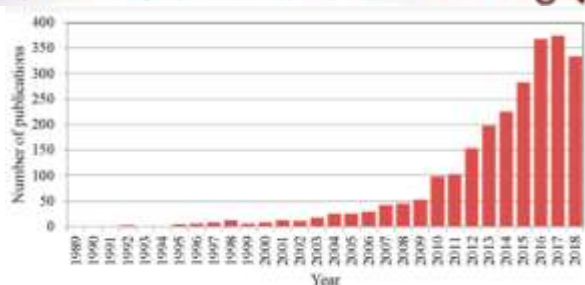


روش‌هایی که بارش آب را در محل ریزش آن مدیریت می‌کنند. ۳- مناطق ساحلی: سیستم‌هایی که اثرات طوفان را کاهش داده و انعطاف‌پذیری ساحلی را ترویج می‌دهند.

روش‌های NbS شهری عموماً در مقیاس محله قرار می‌گیرند و چالش‌های مقاومت در سطح محلی (مانند اقدامات در ساختمان‌ها، خیابان‌ها و فضاهای عمومی باز) را بررسی می‌کنند [۸]. NbS علاوه بر کاهش تأثیرات آلودگی هوا و کاهش درجه حرارت در شهرها با ایجاد سایه سبب کاهش اثرات جزیره حرارتی شهری می‌شود، روش‌های NbS در جمع‌آوری آب باران محلی، افزایش ظرفیت نگهداری آب سیلاب و کاهش فشار روی زیرساخت‌ها بسیار مؤثر است. با این حال، برای دستیابی به سیستم‌های بسیار کارآمد، اجرای NbS در محله باید شامل همکاری بین نهادهای مختلف مانند دولت، بخش خصوصی، مالکان ملک و جوامع باشد.

در حال حاضر راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت NbS به طراحی مناسب و اشتراک گذاری مقیاس اجرا (محله، حوضه آبریز یا ساحلی) دسته بندی می‌شوند تا به اثربخشی آن‌ها بپردازد. با توجه به تغییر جمعیت از مناطق روستایی به مناطق شهری، گسترش مناطق شهری، افزایش تعداد ساختمان‌ها، دسترسی به فضاهای سبز کاهش یافته، بنابراین افزایش مشکلات مربوط به سیلاب، کیفیت آب (مدیریت آب سیلاب) و کیفیت هوا در مناطق شهری مشاهده شده است. بنابراین، اثربخشی این راهکارها در مناطق روستایی به دلیل فشرده‌سازی آن‌ها در سال‌های اخیر تا حدی عملی نیست زیرا آب‌نشستگی بام‌ها به همراه کاهش فضاهای سبز در شهرها بیشتر قابل مشاهده است [۱۶]. تغییرات اقلیمی حاضر باعث افزایش شدت بارش در مناطق شهری خواهد شد؛ بنابراین، ترکیب چندین اقدام با مناطق اجرای متفاوت بسیار حیاتی خواهد بود. علاوه بر این، نیاز به انجام مطالعات مدیریت آب سیلاب در اقلیم‌هایی به جز آب و هوای معتدل مورد توجه قرار گرفته است.

بام‌های سبز به عنوان NbS بیشترین تحقیقات علمی را برخوردار بوده‌اند. با توجه به تغییرات آب و هوایی فعلی (با وقوع رویدادهای اقلیمی شدید) تا سال ۲۰۳۰، انتظار می‌رود که تحقیقات علمی در این زمینه ادامه یابد و رشد کند. مطالعات گزارش شده درباره NbS اطلاعات مهمی را در جهت تحقیقاتی با راه‌حل‌های فناورانه کارآمد و پایدار ارائه می‌کند. در ۳۰ سال گذشته (۱۹۸۹-۲۰۱۸) بیش از ۲۴۰۰ مقاله، بررسی، فصل کتاب و مقاله در مورد بام‌های سبز منتشر شده است. نمودار (شکل ۱) افزایش قابل توجهی در علاقه به تحقیق در مورد این موضوع را نشان می‌دهد. بررسی فعلی یک خلاصه از مقالات علمی منتشر شده است که به طور کلی به NbS و به‌ویژه به زیرساخت سبز به عنوان اقدامات پایدار برای بهبود مدیریت آب سیلاب در مناطق شهری تمرکز دارد، در حالی که به کاهش تغییرات اقلیمی نیز کمک می‌کنند و هدف آن تشویق اجرای این شیوه‌ها در یک محیط شهری سازگار با محیط زیست و انعطاف‌پذیر است.



شکل ۱- تعداد انتشارات بام سبز شده نمایه در نمایه‌های علمی [۱۷]

این مقاله همچنین مدعی است که طراحی زیرساخت سبز باید متناسب با منطقه و هدف مورد نظر تنظیم شود تا بتواند به جهت داشتن تحقیقات علمی بلندمدت تأکید کند تا نتایج به دست آمده را تأیید و کارآمدی بلندمدت آن را نشان دهد.

۲- راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت برای مدیریت آب‌های سیلاب شهری

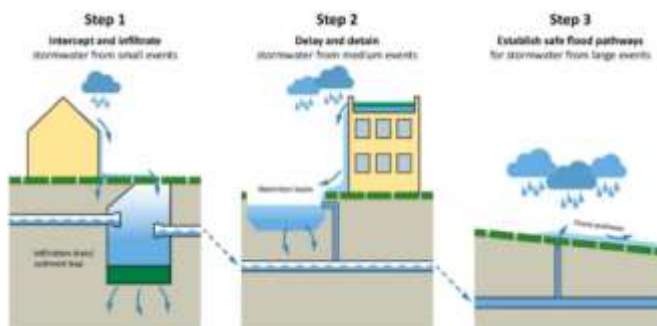
تکنیک‌های مهندسی NbS شهری شامل سیستم‌های محافظت زیستی (معروف به باغ‌های بارانی)، سنگفرش‌های نفوذپذیر، چاه‌ها/حوضه‌های نفوذی، بام‌های سبز و نمای سبز می‌باشند [۱۷]. که برای انجام موارد زیر طراحی شده‌اند: بهبود مدیریت آب سیلاب از طریق نفوذ طبیعی؛ توسعه راهکارهای فناورانه برای جمع‌آوری آب باران و استفاده از آب باران در ساختمان‌ها؛ کاهش رواناب باران از سطوح معدنی نفوذپذیر به سامانه‌های زهکشی؛ کاهش مصرف آب قابل استفاده (مانند شستشوی ماشین، آبیاری باغ و دستشویی) که به دلیل کاهش دسترسی به آب جهانی، موضوعی حائز اهمیت است [۱۳]. استفاده از سیستم‌های پایدار زهکشی گیاهی (SUDS) در انگلستان (مانند بام‌های سبز، تالاب‌های گیاه‌دار، باغ‌های بارانی) به خاطر شباهت آن‌ها به فرایندهای طبیعی (یعنی نفوذ و مهار)، توصیه می‌شود و اقدامی موثر برای مدیریت آب سیلاب محسوب می‌شوند [۱۸].

۲-۱- سطوح نفوذپذیر/سنگفرش‌های نفوذپذیر

سنگفرش‌های نفوذپذیر به‌عنوان یک زیرساخت SUDS شناخته می‌شوند که موجب کاهش جریان سطحی شهری و در نتیجه کاهش ورود آب به سیستم زهکشی می‌شوند [۱۹]. سنگفرش‌های نفوذپذیر ذخیره‌سازی (تأخیر و نفوذ) بخش قابل توجهی از ریزش‌های باران را که بر روی سطح آن‌ها می‌بارد، فراهم می‌کنند و به عنوان یک مخزن عمل می‌کنند که به‌صورت موقت آب را ذخیره می‌کند تا زمانی که به خاک زیرین یا زیرزمینی نفوذ کند و سپس آب نفوذ شده را به سیستم انتقال می‌دهد. چندین مطالعه پتانسیل سنگفرش‌های نفوذپذیر در کاهش جریان سطحی را گزارش کرده‌اند و نشان دادند که تفاوت‌ها در ظرفیت نفوذ NbS از تنوع مواد ناشی می‌شود [۱۸]. به‌عنوان مثال راهبردی سه مرحله‌ای که شهرداری کپنهاگ در طرح مدیریت آب سیلابی خود استفاده می‌کند و آن را زیرساخت سبز-آبی نامیده [۲۰] و در سه مرحله به تصویر کشیده شده است (شکل ۲). Qin و همکاران (۲۰۱۳)

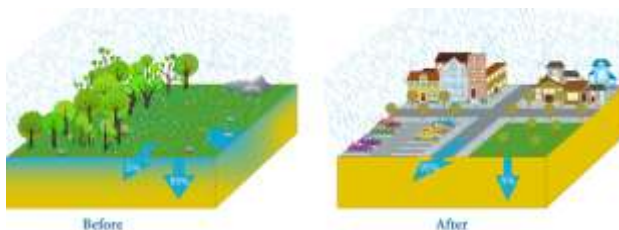


نشان دادند که سنگفرش نفوذپذیر در کاهش سیلاب عملکرد بهتری در هنگام بارش های شدید و کوتاه مدت نسبت به بارش های کوچک و طولانی مدت داشت [۴].



شکل ۲- راهبرد سه مرحله ای نروژ برای مدیریت آب سیلابی [۲۰].

هنگامی که یک محیط طبیعی ایجاد می شود، بخش مهمی از سطوح غیر قابل نفوذ می شوند (ساختمان ها، جاده ها، پارکینگ ها و غیره). این امر باعث می شود که آب قبلاً نفوذ کرده در حال حاضر از منطقه عبور کرده و در نتیجه این آب بندی خاک، چرخه طبیعی آب تغییر می کند و حجم بیشتری از رواناب و جریان های اوج بیشتری تولید می کند همچنین از نفوذ باران به زمین و تغذیه سفره های زیرزمینی جلوگیری می کند [۲۱]، (شکل ۳).



شکل ۳- غیر قابل نفوذ شدن سطوح [۲۱]

۲-۲- زیست نگهداری



باغ های بارانی^۳ که تأسیسات زیست نگهداری نیز نامیده می شوند، یکی از روش های طراحی شده برای افزایش بازجذب رواناب توسط خاک هستند. آن ها همچنین می توانند برای تصفیه رواناب های آلوده به طوفان استفاده شوند. باغ های بارانی مکان های چشم انداز طراحی شده اند که سرعت جریان، مقدار کل و بار آلاینده رواناب از مناطق غیر قابل نفوذ شهری مانند پشت بام ها، مسیرهای عبوری، پیاده روها، پارکینگ ها و مناطق چمن فشرده را کاهش می دهند [۲۲]. باغ های بارانی برای حفظ آب طوفان و افزایش زمان تأخیر نفوذ به گیاهان و خاک طبیعی یا مهندسی شده متکی هستند و در عین حال آلاینده های حمل شده توسط رواناب شهری را اصلاح و فیلتر می کنند. باغ های بارانی روشی برای استفاده دوباره و بهینه سازی هر بارانی که می بارد، ارائه می کند و نیاز به آبیاری اضافی را کاهش می دهد [2]. یکی از مزایای کاشت باغ های بارانی، کاهش دمای هوا و آب است و در پدیده های به نام اثرات جزیره گرمایی مؤثر است. در مقایسه با چمن سنتی، سیستم های زیست نگهداری به نفوذ ۳۰٪ بیشتر آب به زمین اجازه می دهند [۱]. عملکرد زیست نگهداری (عملکرد نفوذ و نگهداری) در مرحله طراحی سیستم زیست نگهداری بسیار حیاتی است [۲] و بسیار وابسته به ساختار و شرایط آب و هوایی است [۲۳]. در مورد ارزیابی هیدرولوژیک، جریان سیلاب و حجم جریان اوج به ویژگی های استفاده از زمین (مانند نفوذپذیری، شیب) و به طور قابل توجه به مقدار و شدت رویدادهای بارشی وابسته است [۲۴].

۲-۳- بام های سبز

بام های سبز نیز به عنوان عاملی مهم در تقویت پوشش گیاهی و فضای سبز مورد توجه قرار گرفته اند. کاربرد بام سبز می تواند به کاهش مصرف انرژی ساختمان ها و کاهش پیامدهای مخاطراتی مانند آلودگی هوا، آلودگی صوتی و جزایر گرمایی کمک کند و در بهبود تنوع زیستی شهری مفید باشد. در شرایطی که انتشار گازهای گلخانه ای در حال افزایش است و پیامدهای تغییرات آب و هوا بر زندگی شهری اثر می گذارد، کاربرد بام سبز می تواند گامی مؤثر باشد. لازم است اجزای بام سبز در راستای رویکرد ساختمان سبز، بهینه سازی و هوشمندسازی شوند [۱۶].

۲-۱- مزایای بام های سبز

بام های سبز^۴ بامی که بر روی آن گیاهان رشد می کنند، تنوع گیاهی چنین ساختاری می تواند پوشیده از چمن مصنوعی تا باغ بامی باشد که با گیاهان مورد استفاده، به عنوان مثال (شکل ۴) در طراحی منظر پوشیده شده است [۵]. از جمله مزایای چندگانه بام های سبز می توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) خدمات چندگانه اکوسیستمی و بهبود تنوع زیستی؛ (۲) کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری؛ (۳) کاهش آلودگی هوا (جذب CO₂) و کاهش تغییرات آب و هوا؛ (۴) بهبود ارزش زیبایی شناختی شهرها؛ (۶) مدیریت آب های سیلابی و کاهش رواناب [۲۵]. با توجه به نگرانی تغییرات اقلیمی فعلی، مدیریت آب های سیلابی و کاهش رواناب، مهمترین مزیت در مناطق شهری است که می تواند به طور بالقوه ای به افزایش و گسترش ایجاد بام های سبز در سراسر شهرها کمک کند [۴] و در نتیجه فشار روی سیستم های مدیریت آب شهر را کاهش می دهند [۲۶]. بر خلاف بسیاری از راهبردهای زهکشی از سطح زمین، مزیت بزرگ بام های سبز این است که نیازی به زمین اضافی به جز زمین ساختمان که در آن ها اجرا می شوند، ندارند [۲۷].

³ - Rain gardens

⁴ - Green Roofs



برخی گونه های گیاهی استفاده شده در بام سبز، از چپ به راست از بالا [۲۸]

Bidens alba, *Nephrolepis multiflora*, *Momordica charantia*, *Portulaca oleracea*, (on the bottom): *Tulbaghia violacea*, *Asclepias curassavica*, *Arachis hypogaea*, *Portulaca pilosa*.

۲-۳- ظرفیت نگهداری بام سبز

ظرفیت نگهداری آب باران توسط سیستم های بام سبز توسط عوامل مختلفی تحت تأثیر قرار می گیرد: الف. عوامل اقلیمی شامل: ویژگی های رویداد بارشی - شدت بارش، دوره آب و هوای خشک قبلی (ADWP) و فصل؛ ب. عوامل فیزیکی / پارامترهای طراحی بام سبز شامل: لایه ها و مواد استفاده شده در سیستم، ارتفاع لایه ماده زیستی، ویژگی های هیدرولیکی ماده زیستی، گیاهان و درصد پوشش بام، هندسه، شیب و سن بام سبز.

الف. عوامل اقلیمی

- شدت/مدت رویداد

مطالعات بام سبز نشان داده اند که میزان نگهداری میانگین آب باران وابسته به عوامل متعددی مانند وضعیت های آب و هوایی محلی (دمای هوا، روزهای آب و هوای خشک قبلی و الگو و شدت رویدادهای بارشی) است. به طور معمول، نگهداری بیشتر حجم بارش در رویدادهای بارش با شدت کم و مدت متوسط مشاهده می شود. رطوبت محیط رشد به طرز چشم گیری تحت تأثیر شدت بارش قرار می گیرد (که با بزرگی رویداد بارش مرتبط است) و بنابراین توسط ظرفیت نگهداری آب سیلاب و رواناب تأثیر می پذیرد. علاوه بر این، شرایط آب و هوایی قبل از رویداد بارش نیز بر رطوبت محیط رشد تأثیر می گذارد؛ با شرایط رطوبت محیطی بالاتر، ظرفیت نگهداری توسط محیط رشد کم است و از این رو آب سیلاب از سیستم بیشتر خارج می شود [۵].

- شرایط خشک قبل از بارش / فصل

همچنین، عملکرد نگهداری آب GR به فصل بستگی دارد و ظرفیت نگهداری بیشتر در ماه هایی با دمای هوای ملایم (بهار و اوایل تابستان) مشاهده می شود که با شرایط رطوبتی محیط رشد و شرایط خشک قبل از بارش مرتبط است [۲۹]. در طول فصل زمستان، با بارش فراوان و میزان تبخیر و تعرق کم، کارایی GR در نگهداری آب کاهش می یابد. یک مطالعه انجام شده در ایتالیا، نشان داد که سیستم های GR مورد آزمایش قادر به نگهداری ۵۷/۵٪ از مجموع مقدار بارش بودند، که به این نتیجه رسیدند که پاسخ هیدرولیکی سیستم GR به طرز قابل توجهی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قبل از رویداد بارش و ویژگی های خود رویداد



بارش قرار می گیرد [۳۰]. اگرچه قدرت GR برای ذخیره بارش از رویدادهای شدید محدود است، اما قدرت آن برای ذخیره بارش از رویدادهای سبک برای مدیریت آب سیلاب و رواناب شهری بسیار حائز اهمیت است [۳۱]. از آنجا که انسانها قادر به تغییر شرایط آب و هوایی نیستند، ویژگیهای فیزیکی یک سیستم (ترکیب لایهها و مواد) ویژگیهای تأثیرگذار اصلی هستند که می توانند تغییر کنند و به شرایط محیطی و آب و هوایی محلی سازگار شوند.

ب: عوامل فیزیکی GR / پارامترهای طراحی

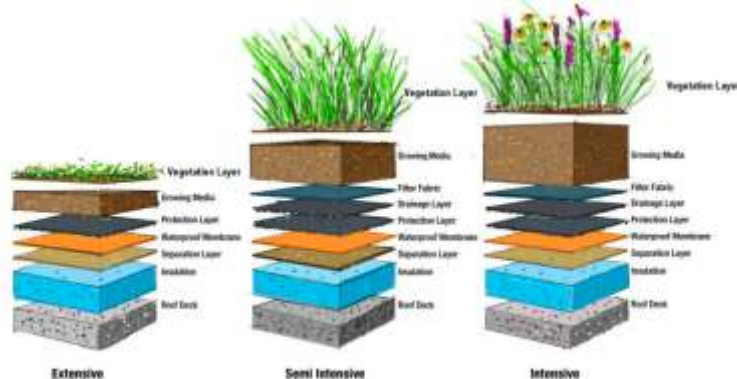
در طول یک رویداد بارش، سیستمهای GR آب باران را می گیرند و اجازه نفوذ آن به محیط رشد را داده و موجب ذخیره آن در لایه زهکشی می شوند (شکل ۵) [۳۲]. پس از رسیدن به ظرفیت اشباع، آب اضافی که به سیستم باریده است، به سیستم زهکشی شهری روانه می شود یا به علت تبخیر و تعرق گیاهان بخار می شود [18]. بنابراین، طراحی سیستم GR بسیار مهم است و باید به ویژگیهای آب و هوایی منطقه توجه شود. همچنین مواد استفاده شده برای محیط رشد و دفع لایه زهکشی را مشخص می کند و اولویت به موادی با ظرفیت نگهداری آب بالا داده می شود [۳۳].



شکل ۵- سیستم برداشت آب باران [۳۴]

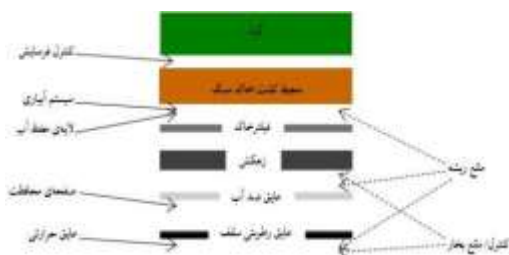
طراحی سیستم GR (گسترده، نیمه گسترده یا فشرده (شکل ۶))

نگهداری آب در سیستمهای GR به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و منابع علمی مختلف به قدرت قابل توجهی در نگهداری باران با سیستمهای GR گسترده اشاره دارند، که نرخ بالایی از نگهداری آب سیلاب و کاهش جریان را نشان می دهد [۳۵]. گزارش شده است که عمق ماده محیط رشد بر ظرفیت نگهداری آب باران تأثیر می گذارد [۲۹]. همچنین بارش سالانه که می تواند توسط GR نگهداری شود، به ضخامت و نوع محیط رشد بستگی دارد و منجر به کاهش جریان اوج می شود [۱]. ذخیره جریان سطحی نه تنها توسط شدت رویداد بارش بلکه توسط عمق محیط رشد تحت تأثیر قرار می گیرد؛ بنابراین، ارتفاع ماده محیط رشد نقش مهمی بر عملکرد GR دارد [۳۶].



شکل ۶- ترکیب ماده محیط رشد GR/گونه های گیاهی [۳۷]

ویژگی ها و ترکیبات ماده محیط رشد (شکل ۷) از عوامل تأثیرگذار عمده ای است که بر نگهداری آب سیستم های GR تأثیر می گذارد (با ظرفیت نگهداری آب) [۲۹]. باریلا و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۳۸] گزارش کردند که محیط های رشد GR با ترکیبی از مواد معدنی و آلی در ساختار خود، توانایی نگهداری آب بالاتری نسبت به محیط های رشد تشکیل شده از تنها مواد معدنی را دارند. یک مطالعه دیگر نشان داد که لایه ای از سرامیک ریز، ظرفیت نگهداری آب باران را در مقایسه با همان لایه ماده محیط رشد خشن دو برابر می کند [۲۹]. یک مطالعه پیشرفته که ویژگی های هیدرولوژیکی اجزای ماده محیط رشد GR گسترده را ارزیابی کرد، نتیجه گرفت که ترکیبات ماده محیط رشد با میزان بیشتری از پرلیت، عملکرد بالاتری در نگهداری آب باران (حجم و زمان) نشان دادند. با این حال، پرلیت یک ماده تولیدی است که برای تولید آن مقدار زیادی انرژی مصرف می شود و انتخاب آن باید با دقت صورت گیرد تا خطر حذف مزایای سیستم های سبز در ارتباط با پایداری را به همراه نداشته باشد [۳۹].



شکل ۷- شمای کلی لایه های بام سبز و محل قرارگیری لایه ها که در منابع مختلف به آن ها اضافه میشوند (برگرفته از اینترنت)



درباره نوع گیاهی که در سیستم‌های GR استفاده می‌شود، گزارش شده که گونه‌های گیاهی عامل کلیدی موثر بر مقدار جریان سطحی نیستند [۳۶]. اما در پژوهشی دیگر، در سیستم‌های پاپلوت GR گسترده، سطح پوشش گیاهی بر ذخیره آب باران تأثیر گذار بوده و پس از آن لایه زهکشی و لایه ماده محیط رشد قرار دارد [۴۰]. تحقیقات آزمایشی گسترده‌تری که توسط ناگاسه و دانت در سال ۲۰۱۲ انجام شد، هدف آن تحلیل تأثیر گونه‌ها و تنوع گیاهی بر کاهش جریان سطحی GR با استفاده از گیاهان در تک گونه و ترکیبی بود تا در صورتی که بیشینه سازی نگهداری آب باران (و کاهش جریان آب) هدف GR باشد، انتخاب مناسبی از گونه‌های گیاهی امکان‌پذیر شود [۴۱]. محققان تفاوت قابل توجهی در حجم تخلیه آب در مقایسه گونه‌های گیاهی به دلیل تفاوت در اندازه و ساختار اعلام کردند: چمنزارها بیشترین کاهش را داشتند (به دلیل ارتفاع بلند آن‌ها) در حالی که گیاه سدوم کمترین کاهش را داشت (به دلیل ارتفاع کوتاه و کاهش جذری ریشه). علاوه بر گونه‌های گیاهی، پوشش کلی GR نیز برای مدیریت موثر آب توصیه می‌شود [۴۱]. مطالعه‌ای که توسط لیو و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۴۲]، انجام شد نتیجه گرفت که GRها با موفقیت آب باران را ذخیره می‌کنند، و تأخیر در آغاز جریان آب به طور عمده تحت تأثیر عوامل زیر است: ترکیب رسانه < عمق رسانه < شیب < گونه گیاه. این نتیجه نشان می‌دهد که ترکیب رسانه و ارتفاع رسانه سیستم دو مورد اصلی هستند که بر ظرفیت ذخیره سازی GR تأثیر می‌گذارند. تعدادی از مطالعات علمی برای تحلیل عملکرد GR در شرایط بارش انجام شده است. شرایط متنوعی (محیطی و طراحی/ساختار مربوط) وجود دارد که بر قابلیت GR برای ذخیره آب باران تا رسیدن به ظرفیت اشباع آن تأثیر می‌گذارد، که این باعث می‌شود نتایج به دست آمده از تحقیقات علمی دشوار باشد. با این حال، برخی جنبه‌ها جهانی هستند:

۳-۲-۳- پارامترهای آب‌شناسی مورد ارزیابی در حفظ آب طوفانی

الف. محتوای رطوبت حجمی (VMC)^۵

چندین روش وجود دارد که رسانه‌های حفظ آب طوفانی می‌توانند ظرفیت (و زمان) رسیدن به ظرفیت اشباع خود پس از یک رویداد بارانی را افزایش دهند. پس از یک رویداد بارانی، حداکثر محتوای آب زیرسازی (یا محتوای رطوبت حجمی) وابسته به ویژگی‌های زیرسازی (مانند ارتفاع لایه رسانه) است، که به نوبه خود بر ظرفیت نگهداری بیشتر آب باران تأثیر می‌گذارد. رابطه مثبتی بین عمق رسانه و نگهداری رطوبت تا یک حد آستانه وجود دارد، جایی که افزایش بیشتر ارتفاع زیرسازی تنها مقدار آب را نگه می‌دارد. این وضعیت خاص، مهم است زیرا ظرفیت نگهداری آب با افزایش ارتفاع زیرسازی به میزان کم‌تری افزایش می‌یابد و بار اضافی را به ساختار ساختمان ایجاد نمی‌کند [۵].

ب. تبخیر و تعرق (ET)^۶

تبخیر و تعرق (ET) یک مکانیزم مهم است که بر ظرفیت نگهداری آب سیستم‌ها تأثیر می‌گذارد. ET به ویژگی‌های محیطی هواشناسی (الگوی بارش، دما و رطوبت هوا، باد) و سیستم‌های گیاهی (مانند ترکیب رسانه و گونه‌های گیاهی استفاده شده) بستگی دارد [۳۲]. گونه‌های گیاهی استفاده شده در GRs حجم رواناب را بر اساس ویژگی‌های خاص هر گیاه (ظرفیت نگهداری آب و میزان تبخیر و تعرق) تحت تأثیر قرار می‌دهد [۴۱]. بنابراین، افزایش ET تمام مزایای مربوط به مدیریت آب سیلابی سیستم GR

^۵- Volumetric Moisture Content

^۶- Evaporation and Transpiration



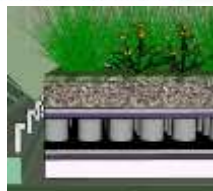
را بهبود می‌بخشد. ET با مقاومت روزانه گیاه (که روزانه تغییر می‌کند) و شاخص سطح برگ (LAI) (که فصلی تغییر می‌کند) مرتبط است [۵]. شاخص سطح برگ بین گونه‌های گیاهی متفاوت متغیر است و مساحت سطحی که برای تعرق گیاهی در دسترس است را نشان می‌دهد. هر چه شاخص LAI بالاتر باشد، سطح گیاهی برای تبخیر و تعرق بیشتر است. با این حال، هنگامی که پوشش گیاهی کاهش یابد، ET بیشتر می‌باشد [۵].

ج. کاهش زهکشی / کاهش اوج / تاخیر اوج / ضریب زهکشی

GRs نقش مهمی در ضریب رواناب سیستم گیاهی دارد که منجر به کاهش کلی روانابی می‌شود که به سیستم فاضلاب سنتی هدایت می‌شود [۵]. ضریب رواناب نشان‌دهنده مقدار ظرفیت نگهداری آب در GRS است [۳۳]. Gioaomello و همکاران (۲۰۲۱) [۴۳]، ضریب روانابی ۰/۶۸ را برای یک بام غیرگیاهی در یک رویداد بارش شدید (۹ میلیمتر در ۵ دقیقه در طول ۱۵ دقیقه) گزارش کردند، در حالی که GRS ۲۰٪ از آب باران را در رویدادهای شبیه‌سازی شده نگهداری کرده است. همچنین، کاهش در جریان خروجی (کاهش در آب باران تخلیه شده) به میزان ۱۳٪ به دست آمده است. تولید به‌خاطر داشت که کلیه این پارامترهای هیدرولوژیکی به ویژگی‌ها و شرایط آب و هوایی GRS مرتبط هستند. به همین دلیل، گزارش شده است که محتوای رطوبت قبلی محیط رشد GRS تأثیر منفی بر کاهش رواناب (ضریب رواناب) و زمان شروع تخلیه آب دارد [۴۲]. نرخ دفع (یا جریان) به مقدار حجمی آبی که توسط ساختار GRS در واحد زمان تخلیه می‌شود، مرتبط است و معمولاً به لیتر بر ثانیه بیان می‌شود. به عنوان مثال، اگر نرخ دفع کم باشد، نگهداری آب باران توسط سیستم GRS افزایش می‌یابد. گزارش شده است که تخلیه آب در GRS با وجود گیاهان نسبت به خاک خالص یا بام‌های بدون گیاه بیشتر اتفاق می‌افتد [۵].

۴-۲-۳- معایب بام سبز

هر بام سبز چندلایه‌ای (شکل ۸) یک سیستم زنده منحصربه‌فرد است و محدودیت‌هایی نیز دارد. به خصوص در سال‌های اول توسعه گیاهان در سیستم‌های GRS گسترده، ممکن است مشکل شستشو به دلیل استفاده از کودها وجود داشته باشد که باید اجتناب یا حداقل کاهش یابد. علاوه بر این، به منظور جلوگیری از آلودگی آب، کنترل دفع اولیه GRS باید مدنظر قرار گیرد، به عنوان مثال، اتصال سیستم زهکشی GRS به سازه‌های شهری NbS دیگر (مانند باغ‌های بارانی و/یا گودال‌های گیاهی) برای اجازه نفوذ مواد غذایی در خاک زمین انجام شود [۲۵]. از دیگر موارد این است که نصب این سیستم گیاهی در ساختمان‌های قدیمی ممکن است به دلیل بار اضافی مورد نیاز، مناسب نباشد. به همین دلیل، قبل از بازسازی ساختمان، باید یک بررسی مهندسی دقیق انجام شود؛ در فاز طراحی، باید انتخاب مناسبی از نوع مطلوب GRS و سپس عمق زیربنای رشد، صورت گیرد، تا مدیریت رواناب و جمع‌آوری و نگهداری آب باران نیز صورت گیرد [۲۶]. با این حال، سیستم‌های GRS یک استراتژی ارزشمند برای بهبود پایداری و انطباق شهری در شرایط تغییرات آب و هوایی فعلی هستند.



شکل ۸- لایه‌های بام سبز [۳۴]

۳- محدودیت‌های تحقیقاتی و جهت‌گیری‌های آینده

بر اساس مطالعات منتشرشده در دو دهه گذشته، این پژوهش نقش راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NbS) در کاهش تأثیرات شهری شدن و توانایی در آب‌گیری باران و افزایش انطباق شهری با تغییرات آب و هوا را بررسی می‌کند، مطالعات فعلی بر تلاش برای یافتن راهکارهای NbS به صورت‌های نوآورانه برای حفظ عملکرد مناطق طبیعی شهری (از نظر کیفیت و کمیت آب) تمرکز دارند، علاوه بر این استفاده از آب باران، یک منبع جایگزین برای آب آشامیدنی و بهبود مدیریت آب سیلاب را ممکن می‌سازند. NbS همچنین یک اقدام پایدار برای بهبود انطباق شهری با کاهش خطر بلایای طبیعی و تضمین ایمنی تأمین آب هستند. در زمینه راهبردهای مدیریت محیطی و آب، NbS به عنوان یک روش بسیار موثر شناخته شده است که در شهر، اقداماتی مانند سنگفرش‌های نفوذپذیر و تراوایی، سیستم‌های زیست‌نگهداری، سیستم‌های نفوذ و بام‌های سبز، مدیریت جریان آب و کاهش سیلاب و اجرای تدابیر طبیعی نگهداری آب، ارتباطات و عملکردهای زیرساخت سبز را ارتقا می‌دهد.

تحقیقات انجام شده مربوط به NbS بسیار محدود است. این موضوع ممکن است به دلیل چالش‌های اساسی مرتبط با اجرا و آزمون در محل مانند هزینه‌های بالا و نیازهای نگهداری باشد. بام‌های سبز به عنوان اصلی‌ترین راهکارهای سیستم‌های طبیعی مبتنی بر نگرش نوین (NbS) در مناطق شهری می‌باشند. مزیت بام‌های سبز، به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از مزیت‌های اصلی بام‌های سبز این است که برخلاف بسیاری از تکنیک‌های پایدار مدیریت آب در سطح زمین، نیازی به زمین اضافی در فضایی که ساختمان در آن استفاده می‌شود ندارند. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که بام‌های سبز می‌توانند به طور پیوسته با سایر سیستم‌های NbS یکپارچه شده و به ارتقای پایداری محیطی کمک می‌کنند. با این حال، نقصان قابل توجهی در اطلاعات وجود دارد که باعث تأخیر در پذیرش گسترده بام‌های سبز می‌شود. یکی از دلایل اصلی آن این است که بیشتر مزایای مربوط به بام‌های سبز هنوز به صورت تئوری باقی مانده‌اند. علاوه بر این، باید توجه داشت که دامنه تحقیقات مربوط به بام‌های سبز در حال حاضر محدود به برخی از کشورهای اروپا، آمریکا و آسیا است. عواملی نظیر شرایط آب و هوایی محلی و اجزای طراحی فیزیکی بام‌های سبز، بر ذخیره‌سازی میانگین بارش باران تأثیر می‌گذارند. در رابطه با متغیر ویژگی‌های بارش، برترین نتایج نگهداری آب باران برای سیستم‌های بام سبز برای رویدادهای بارانی با مدت زمان کوتاه، به جای رویدادهای بارانی با مدت زمان طولانی و با شدت بالا، می‌باشد. همچنین در عمق ماده زیرکاشت، برای رسیدن به ظرفیت ذخیره‌سازی حداکثر محدودیت وجود دارد. برای اجرای سیستم‌های NbS در محیط شهری، همکاری از نهادهای مختلف نظیر دولت، بخش خصوصی، مالکان ملک و سیستم‌های کارآمد و موفق را می‌طلبد. سیاست‌گذاران قادرند با حمایت، اشاره به نگرانی‌های مشترک و ایجاد چارچوب‌های قانونی، فرآیند پذیرش بام‌های



سبز را سهولت بخشند. برای کمک به درک بهتر شرایط واقعی، تجزیه و تحلیل چرخه عمر و هزینه باید در هر منطقه جغرافیایی انجام شود.

نتیجه گیری

بسیاری از مزایای قابل توجه ناشی از اجرای سیستم های NbS در اکوسیستم های شهری، به ویژه کارایی مدیریت آب با تضمین توسعه فناوری و کارایی هزینه ای می تواند ایجاد شود. به همین دلیل، دولت ها در سراسر جهان اقدام به نصب سیستم های NbS برای بهره برداری از مزایای آن ها کرده اند و دستورالعمل هایی را دنبال کرده اند که با تحقیقات انجام شده، توسعه یافته اند. نیاز به تحقیقات بیشتر با نتایج قابل فهم وجود دارد تا به درک واقعی از تأثیرات مثبت سیستم های NbS در دوره های کوتاه و بلند مدت کمک کند و در نتیجه منجر به اخذ تصمیم گیری بهتر گردد. عملکرد بسیار خوب سیستم های NbS (به ویژه بام های سبز) با پیروی از توصیه های زیر قابل دستیابی است:

الگوهای بارش به دلیل تغییرات اقلیمی در حال تغییر هستند. به همین دلیل، انتخاب و معیارهای طراحی سیستم های NbS باید به هر منطقه، شرایط آب و هوایی محلی (با توجه به الگوی بارش و روان آب) و هدف مورد نظر، تطبیق داده شوند تا موفقیت و کارایی بالاتری در اجرای سیستم های NbS با مقاومت بالاتر در مقابل آب حاصل شود.

در مدیریت آب و سیستم های نگهداری آب باران، مواد مورد استفاده در لایه زیرکشت و لایه زهکشی نسبت به عملکرد هیدرولیک نقش مهمی دارند.

Reference

- Bradford, A. and C. Denich, *Rainwater management to mitigate the effects of development on the urban hydrologic cycle*. Journal of Green Building, 2007. 2(1): p. 37-52.
- Li, H., et al., *Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland*. Journal of Hydrologic Engineering, 2009. 14(4): p. 407-415.
- Speak, A., et al., *Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof*. Science of the Total Environment, 2013. 461: p. 28-38.
- Qin, H.-p., Z.-x. Li, and G. Fu, *The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics*. Journal of environmental management, 2013. 129: p. 577-585.
- Cook, L.M. and T.A. Larsen, *Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: An interdisciplinary review*. Building and Environment, 2021. 188: p. 107489.
- Kooijman, E.D., et al., *Innovating with nature: From nature-based solutions to nature-based enterprises*. Sustainability, 2021. 13(3): p. 1263.
- Moore, T.L., et al., *Urban stormwater characterization, control and treatment*. Water environment research, 2018. 90(10): p. 1821-1871.
- Vojinovic, Z., et al., *Effectiveness of small-and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: The case of Ayutthaya, Thailand*. Science of The Total Environment, 2021. 789: p. 147725.
- Zhang, K. and T.F.M. Chui, *A review on implementing infiltration-based green infrastructure in shallow groundwater environments: Challenges, approaches, and progress*. Journal of Hydrology, 20: 579-599p. 124089.
- Huang, Y., et al., *Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2020. 7(3): p. e1421.



۱۱. Jarden, K.M., A.J. Jefferson, and J.M. Grieser, *Assessing the effects of catchment-scale urban green infrastructure retrofits on hydrograph characteristics*. Hydrological Processes, 2016. 30(10): p. 1536-1550.
۱۲. Directive, S.F., *Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council*. Journal). Council Decision of, 2008.
۱۳. Slys, D., A. Stec, and M. Zelenáková, *A LCC analysis of rainwater management variants*. Ecological Chemistry and Engineering S, 2012. 19(3): p. 359-372.
۱۴. Pathak, A., et al., *Incorporating Nature-based Solutions Into Community Climate Adaptation Planning*. 2022, Climate Smart Communities Series.
۱۵. Freitag, R.C., et al., *Whole community resilience: An asset-based approach to enhancing adaptive capacity before a disruption*. Journal of the American Planning Association, 2014. 80(4): p. 324-335.
۱۶. Song ,K., Y. Seok, and J. Chon, *Nature-Based Restoration Simulation for Disaster-Prone Coastal Area Using Green Infrastructure Effect*. International journal of environmental research and public health, 2023. 20(4): p. 3096.
۱۷. Suszanowicz, D. and A. Kolasa Więcek, *The impact of green roofs on the parameters of the environment in urban areas*. Atmosphere, 2019. 10(12): p. 792.
۱۸. Stovin, V., G. Vesuviano, and H. Kasmin, *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions*. Journal of hydrology, 2012. 414: p. 148-161.
۱۹. Hernández-Crespo, C., et al., *Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements*. Science of The Total Environment, 2019. 684: p. 303-313.
۲۰. Thodesen, B., B. Time, and T. Kvande, *Sustainable Urban Drainage Systems: Themes of Public Perception—A Case Study*. Land, 2022. 11(4): p. 589.
۲۱. Ferrans, P., et al., *Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review*. Science of the Total Environment, 2022. 806: p. 150447.
۲۲. Kangas, D., *Evaluating stormwater management techniques for dense urban areas using multi-criteria decision analysis*. 2016.
۲۳. Kratky, H., et al., *A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations*. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2017. 11: p. 1-15.
۲۴. Flores, P.E.D., et al., *Evaluation on the hydrologic effects after applying an infiltration trench and a tree box filter as low impact development (LID) techniques*. Journal of Korean Society on Water Environment, 2015. 31(1): p. 12-18.
۲۵. Santos, C. and C.M. Monteiro, *Green roofs influence on stormwater quantity and quality: a review*. Stormwater, 2022: p. 1-21.
۲۶. Cristiano, E., R. Deidda, and F. Viola, *The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review*. Science of the Total Environment, 2021. 756: p. 143876.
۲۷. Wong, G.K. and C.Y. Jim, *Quantitative hydrologic performance of extensive green roof under humid-tropical rainfall regime*. Ecological Engineering, 2014. 70: p. 366-378.
۲۸. Grullón-Penkova, I.F., J.K. Zimmerman, and G. González, *Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics*. Heliyon, 2020. 6.(^)
۲۹. Graceson, A., et al., *The water retention capabilities of growing media for green roofs*. Ecological Engineering, 2013. 61: p. 328-334.
۳۰. Piro, P., et al., *Energy and hydraulic performance of a vegetated roof in sub-Mediterranean climate*. Sustainability, 2018. 10(10): p. 3473.
۳۱. Nawaz, R., A. McDonald, and S. Postoyko, *Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate*. Ecological Engineering, 2015. 82: p. 66-80.
۳۲. Silva, M.d., et al., *Assessing the retention capacity of an experimental green roof prototype*. Water, 2019. 12(1): p. 90.



۳۳. Monteiro, C.M., et al., *Contributions to the design of rainwater harvesting systems in buildings with green roofs in a Mediterranean climate*. Water Science and Technology, 2016. 73(8): p. 1842-1847.
۳۴. Pudyastuti, P.S., et al., *Small Scale Integrated Sustainable Roof Design (Case Study in Surakarta City)*. Civil Engineering and Architecture, 2020. 8(4): p. 500-506.
۳۵. Zhang, S., et al., *Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations*. Journal of Environmental Management, 2021. 291: p. 112682.
۳۶. Buccola, N. and G. Spolek, *A pilot-scale evaluation of greenroof runoff retention, detention, and quality*. Water, Air, & Soil Pollution, 2011. 216: p. 83-92.
۳۷. Bāk, J. and M. Barjenbruch, *Benefits, Inconveniences, and Facilities of the Application of Rain Gardens in Urban Spaces from the Perspective of Climate Change—A Review*. Water, 2022. 14(7): p. 1153.
۳۸. Baryła, A., A. Karczmarczyk, and A. Bus, *Role of substrates used for green roofs in limiting rainwater runoff*. Journal of Ecological Engineering, 2018. 19(5): p. 86--92.
۳۹. Bollman, M.A., et al. „*A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media*. Ecological Engineering, 2019. 140: p. 105589.
۴۰. Bortolini, L., F. Bettella, and G. Zanin, *Hydrological behaviour of extensive green roofs with native plants in the humid subtropical climate context*. Water, 2021. 13(1): p. 1-14.
۴۱. Nagase, A. and N. Dunnett, *Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure*. Landscape and urban planning, 2012. 1 : (۳-۴) ۳۵۶-363.
۴۲. Liu, W., et al., *The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments*. Journal of Hydrology, 2019. 569: p. 230-238.
۴۳. Giacomello ,E. and J. Gaspari, *Hydrologic Performance of an Extensive Green Roof under Intense Rain Events: Results from a Rain-Chamber Simulation*. Sustainability, 2021. 13(6): p. 3078.

Abstract:

In the world, research related to nature-based solutions (NbS) is rapidly developing. NbS plays a role in urban areas in temperature control, ecosystem development, and water resource management. Today, when the use of water resources is challenged, the analysis of the benefits of NbS for the urban water cycle is critical. The urban water cycle involves not only the extraction of water for urban consumption but also the return of water to nature, the reuse of water, and the management of floodwater. NbS is a key player in improving urban sustainability and resilience in the face of future climate challenges. Green spaces are one of the most effective ways to deal with global warming, which is associated with increasing green spaces in cities. This article is in the field of NbS (Nature-Based Solutions) and has published important information and findings in this field that can address its diverse interests and complexities.

Keywords: Green roofs, permeable surfaces, biodiversity, infiltration basins, water management.