Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Rainwater management by developing integrated biotic and abiotic conservation systems based on nature

Afsoun Kamyab[1], Davood Samsampour[*2]

1. Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology in Horticultural Products, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: kamyab.floric@yahoo.com
2. Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Review Paper

Article history
Received: 15 May 2024
Revised: 16 July 2024
Accepted: 30 July 2024
Published online: 16 November 2024

Keywords:
Green roof, Ecological Conservation, Reducing runoff, Water management

ABSTRACT

Effective management of rainwater through the development of integrated nature-based systems, both biotic and abiotic, is achievable. Utilizing rain gardens and permeable surfaces to capture and purify rainwater can help reduce pollution and enhance water resource efficiency. These systems are crucial in environmental conservation and balancing development with natural resource preservation. Nature-based solutions (NbS) such as rainwater harvesting, reducing surface runoff, enhancing evaporation, and improving stormwater quality contribute to better rainwater management. Diverse approaches and collaboration among stakeholders are fundamental to enhancing the efficiency of these systems. These solutions can effectively mitigate urbanization impacts, improve rainwater harvesting, and enhance urban resilience to climate change. Green roofs, as one of the primary NbS strategies in cities, promote environmental sustainability, enhance urban resilience, and reduce natural disaster risks. They are widely applied globally as a suitable technique for reducing runoff. Nevertheless, implementation challenges and high costs have limited the research and widespread adoption of NbS solutions. Additionally, a lack of information regarding green roofs is a major obstacle in this field. Policymakers can facilitate the adoption of green roofs by supporting and establishing appropriate legal frameworks. Understanding local conditions, lifecycle analysis, and cost considerations in each region is necessary for better comprehension. Technological advancements and efficient water management through NbS systems provide numerous benefits to urban ecosystems. There is a need for further research to understand the short-term and long-term positive impacts of these systems and to make better decisions. Implementing practical recommendations for these systems is of utmost importance.

Citation: Kamyab, A., Samsampour, D. (2024). Management of Rainwater through the Development of Integrated Biotic and Abiotic Nature-Based Retention Systems. *Scientific Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(3), 61-78

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Davood samsampour
Address: Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
Tel: +989173616518
Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Rainwater management by developing integrated biotic and abiotic conservation systems based on nature

Afsoun Kamyab[1], Davood Samsampour[*2]

1. Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology in Horticultural Products, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: kamyab.floric@yahoo.com
2. Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Biological and non-biological integrated systems are promoted for better rainwater management. From rain gardens to influential levels used to absorb and purify water, these approaches reduce pollution and increase water resource efficiency. These systems play an important role in protecting the environment and balancing the development and conservation of natural resources.

Methodology: To assess the effectiveness of integrated biological and non-biological systems for rainwater management and environmental preservation, this paper utilizes a systematic review approach. In this method, relevant content and articles related to rainwater management and integrated preservation systems are collected from reputable databases. Subsequently, they are evaluated based on specific criteria such as efficiency, sustainability, and adherence to natural principles. This evaluation delves into a comprehensive analysis of successful initiatives and existing challenges in the development of these systems, providing insights into the overall impact of these systems on rainwater management and environmental quality improvement.

Results and Discussion: For the optimal and effective implementation of nature-based approaches in rainwater management, by relevant EU guidelines and standards, rainwater must be stored through underground infiltration. The approach will also contribute to the United Nations' sustainable development achievements by 2030, including urban adaptation and climate change mitigation. Implementing nature-based biological methods leads to measures such as rainwater storage, reducing surface fluctuation, water evaporation, and improving floodwater quality. Diversity of approaches and collaboration between institutions are fundamental to increasing the efficiency of these systems. Nature-based approaches (NbS) can play an effective role in reducing the effects of urbanization, improving rainwatering, and increasing urban adaptation to climate change. The study examines NbS ways to preserve the functioning of urban natural areas and states that the use of rainwater can be an alternative source for drinking water and improve flood water management. The green roofs are noted as one of the main NbS platforms in cities. These roofs, by enhancing environmental sustainability and integrating with other NbS systems, help improve urban compliance while reducing the risk of natural disasters. However, research related to NbS is still limited, probably due to executive challenges and high costs. Also, there is a lot of damage to information about green roofs that has caused a delay in their widespread acceptance. In implementing NbS systems in cities, cooperation between the government, the private sector, and property owners is essential. Policymakers can also facilitate the process of accepting green leaves by supporting and establishing appropriate legal frameworks. To better understand local conditions, it is necessary to analyze the life cycle and cost in each region.

Conclusion: NbS systems, especially green roofs, provide many advantages in urban ecosystems with the development of technology and the efficiency of water management operations. Governments around the world have installed these systems and developed guidelines through research. More research is needed to realize the positive effects in the short and long term and make better decisions. Implementation of recommendations related to the functioning of these systems is important identified, which can be used in projects related to reclamation, restoration, and exploitation of natural resources.

***Corresponding author:** Davood samsampour
Address: Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
Tel: +989173616518
Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Funding: Funding: This research has not received any financial support.
Authors' contribution: A.K. and D.S. conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.
Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: The authors of this article are grateful to the Deputy of the University of Hormozgan.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

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

افسون کامیاب[۱]، داود صمصام‌پور[۲*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح محصولات باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، kamyab.floric@yahoo.com

۲. استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، samsampoor@hormozgan.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
مروری

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳
بازنگری: ۲۶ تیر ۱۴۰۳
پذیرش: ۰۵ مرداد ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۲۶ آبان ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
بام سبز، زیست‌نگهداری، کاهش رواناب، مدیریت آب

چکیده

مدیریت مؤثر آب باران از طریق توسعه سیستم‌های یکپارچه زیست و غیرزیست نگهدار مبتنی بر طبیعت امکان‌پذیر است. استفاده از باغ‌های باران و سطوح نفوذپذیر برای جذب و تصفیه آب باران می‌تواند به کاهش آلودگی و افزایش بهره‌وری منابع آبی کمک کند. این سیستم‌ها نقش کلیدی در حفاظت از محیط زیست دارند و موجب توازن بین توسعه و حفظ منابع طبیعی می‌شوند. راه‌کارهای زیستی مبتنی بر طبیعت (NbS) مانند ذخیره آب باران، کاهش رواناب سطحی، تبخیر آب و بهبود کیفیت آب سیلاب، موجب بهبود مدیریت آب باران می‌شوند. تنوع رویکردها و همکاری بین نهادها، بنیانی برای افزایش کارآمدی این سیستم‌هاست. این راه‌کارها می‌توانند در کاهش تأثیرات شهری‌شدن، بهبود آب‌گیری باران و افزایش انطباق شهری با تغییرات آب و هوا نقش مؤثری ایفا کنند. این پژوهش به بررسی راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت برای حفظ عملکرد مناطق طبیعی شهری می‌پردازد و نشان می‌دهد که استفاده از آب باران می‌تواند به‌عنوان منبعی جایگزین برای آب آشامیدنی و بهبود مدیریت آب سیلاب مطرح شود. بام‌های سبز، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین راه کارهای NbS در شهرها، با ارتقاء پایداری محیطی، به بهبود انطباق شهری و کاهش خطر بلایای طبیعی کمک می‌کنند و در بسیاری از نقاط جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که برای کاهش رواناب نیز تکنیک مناسبی به‌نظر می‌رسد. با این حال، چالش‌های اجرایی و هزینه‌های بالا، تحقیقات و پذیرش گسترده راه کارهای مبتنی بر طبیعت را محدود کرده است. علاوه‌بر این، کمبود اطلاعات در مورد بام‌های سبز نیز به‌عنوان یکی از موانع اصلی در این حوزه شناخته می‌شود. همکاری بین دولت، بخش خصوصی و مالکان ملک برای اجرای موفق سیستم‌های NbS ضروری است. برای درک بهتر شرایط محلی، تجزیه و تحلیل هزینه در هر منطقه لازم است. توسعه فناوری و بهره‌مندی از کارآیی مدیریت آب از طریق سیستم‌های مبتنی بر طبیعت، مزایای زیادی در اکوسیستم‌های شهری فراهم می‌کند. برای درک بهتر اثرات مثبت کوتاه و بلندمدت این تدابیر و اتخاذ تصمیمات بهینه، نیاز به تحقیقات بیش‌تر بوده و اجرای عملیاتی این سازوکارها از اهمیت بسیاری برخوردار است.

استناد: کامیاب، افسون و صمصام‌پور، داود. مدیریت آب باران با توسعه سیستم‌های یکپارچه زیست و غیرزیست نگهدار مبتنی بر طبیعت. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۳)، ۶۱-۷۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** داود صمصام‌پور

نشانی: گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تلفن: ۰۹۱۷۳۶۱۶۵۱۸

پست الکترونیکی: samsampoor@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

مقدمه

توسعه شهری و افزایش جمعیت در نواحی نفوذپذیر، چرخه آبی شهرهای پرجمعیت را تغییر داده و پیامدهای منفی قابل توجهی برای اکوسیستم‌های شهری به‌همراه داشته است (Bradford & Denich, 2007). این رشد جمعیت باعث تغییر در ویژگی‌های معماری و فضاهای سبز شهری شده که بر مدیریت کمی و کیفی آب تأثیرگذار بوده است. کاهش پوشش گیاهی که به‌عنوان نواحی نفوذ طبیعی باران عمل می‌کنند، منجر به افزایش جریان آب به سمت سیستم‌های زهکشی سنتی شده است (Bradford & Denich, 2007). تغییرات در شکل زمین نه تنها بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، بلکه باعث تجمع آلاینده‌ها در آب سیلابی از مناطق نفوذناپذیر می‌شود (Li et al., 2009). تمامی این تغییرات در بافت شهری، به همراه تغییرات اقلیمی کنونی، باعث آسیب‌پذیری بیش‌تر مراکز شهری در برابر سیلاب و خشکسالی می‌شود (Li et al., 2009). 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 (Speak et al., 2013) 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 پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر افزایش خواهد یافت.

سیستم‌های مدیریت آب سنتی، در حوزه‌های انتقال و زمان‌بندی فاضلاب، تمرکز دارند تا فرآیند بهینه‌سازی جریان فاضلاب و زمان مناسب برای انتقال آن به سیستم‌های تصفیه را فراهم سازند. چندین سیستم زهکشی شهری سنتی برای مدیریت آب سیلاب و زهکشی در شهرها، مانند سطوح سیمانی (خیابان‌ها، پارکینگ‌ها، پیاده‌روها) وجود دارد (Qin et al., 2013). اما این سیستم‌های زهکشی شهری سنتی جهت مواجه با جریان آب سیلاب کافی نیستند. هنگامی‌که 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. علاوه‌بر این، سیستم‌های زهکشی سنتی در شهرهای پرجمعیت هزینه‌های بالایی دارند (Qin et al., 2013). 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 (Cook & Larsen, 2021). زیرساخت سبز شهری، به‌عنوان راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت بوده است و به‌عنوان "فعالیت‌هایی برای حفاظت، مدیریت پایدار و بازسازی اکوسیستم‌ها برای مواجه با چالش‌های اجتماعی به روشی مؤثر که هم به بهبود رفاه انسانی و هم بهره‌برداری از تنوع زیستی منجر می‌شود" شناخته می‌شود (Kooijman et al., 2021). زیرساخت سبز یا تکنیک‌های NbS[1] با هدف حفظ عملکرد مناطق طبیعی (از نظر کیفیت و کمیت آب) و استفاده از آب باران به‌عنوان منبع جایگزین آب آشامیدنی در جهت بهبود مدیریت آب سیلاب در حال توسعه و اجرا هستند (Moore et al., 2018). 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 (Vojinovic et al., 2021).

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 (Zhang & Chui, 2019). علاوه‌بر 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 (Bradford & Denich, 2007). به‌طورکلی، تکنیک‌های NbS به‌منظور 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 (Huang et al., 2020). اتصال زیرساخت‌های سبز به سطوح سنتی کمک فراوانی به کاهش حجم جریان سیلاب از مناطق سطح بالاتر داشته است (Jarden et al., 2016).

اجرای راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت به‌منظور مدیریت آب باران به‌طور مؤثر و بهینه با توجه به دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوطه صورت می‌گیرد. NbS طبق دستورالعمل چارچوب آبی اتحادیه اروپا[2] (Directive, 2008)، به‌منظور مدیریت بهینه بارش آب، آب باران باید از طریق نفوذ به زیر زمین ذخیره شود (Słyś et al., 2012). علاوه‌بر این، این روش نیز به دستاوردهای اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد تا سال ۲۰۳۰ کمک می‌کند. این اهداف شامل سازگاری و پایدارسازی 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

[1]- Nature-based solutions
[2]- CEFR

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

حرارتی شهری (UHI) ۴- بهبود کیفیت آب سیلاب. سازمان (مدیریت بحران فدرال[1]) (Pathak et al., 2022) 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 (Jarden et al., 2016). سازمان FEMA (Freitag et al., 2014) روش‌های NbS را بر اساس مقیاس اجرا و محل استقرار آن‌ها دسته‌بندی می‌کند: ۱- مقیاس منظره: روش‌های بزرگ مرتبط با مناطق طبیعی که نیاز به زمان طولانی برای توسعه و مدیریت دارند. ۲- مقیاس محله یا سایت: 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 (Vojinovic et al., 2021). NbS علاوه‌بر 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 به‌دلیل فشرده‌سازی آن‌ها در سال‌های اخیر تا حدی عملی نیست زیرا آب‌نشستگی بام‌ها به همراه کاهش فضاهای سبز در شهرها بیش‌تر قابل مشاهده است (Song et al., 2023). تغییرات اقلیمی حاضر باعث افزایش شدت بارش در مناطق شهری خواهد شد؛ بنابراین، ترکیب چندین اقدام با مناطق اجرای متفاوت بسیار حیاتی خواهد بود. علاوه‌بر این، نیاز به انجام مطالعات مدیریت آب سیلاب در اقلیم‌هایی به‌جز آب و هوای معتدل مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش تحقیق

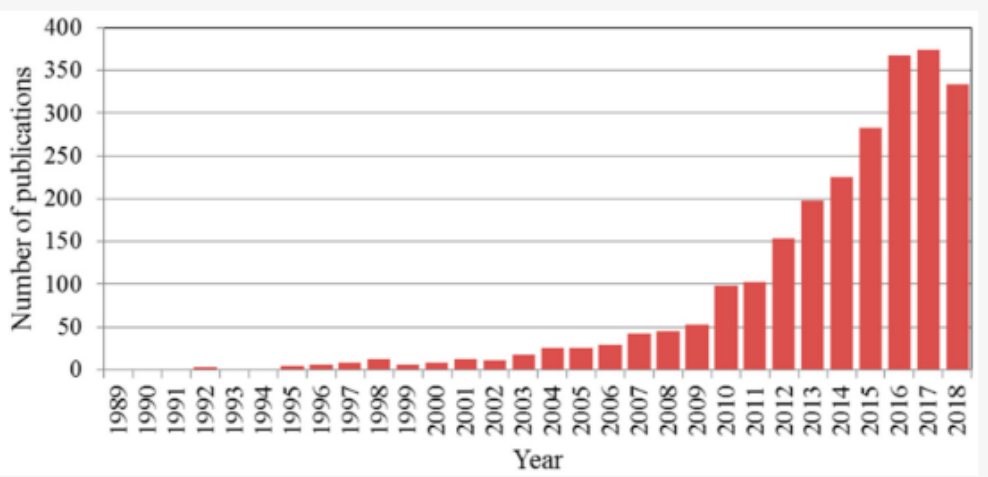
بررسی حاضر شامل مراحل زیر بود: (۱) تعریف دامنه و موضوعات مطالعه؛ (۲) انتخاب و حذف مقالات تحقیقی تکراری؛ (۳) سازماندهی مقالات انتخاب شده با استفاده از رویکردی موفق؛ (۴) ارزیابی مقالات علمی انتخاب شده نهایی. برای جستجو، کلمات کلیدی خاصی مانند راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت (NbS)، مدیریت باران‌ها، تغییرات اقلیمی، توسعه با تأثیر کم (LID)، بام‌های سبز، ساختمان‌های سبز و ترکیبات آن‌ها در پایگاه‌های داده استفاده و مقالات منتشر شده جستجو شدند. علاوه‌بر این، با تجزیه و تحلیل عنوان، دسترسی به مقالات کامل و مقالات تحقیقی که بر روی NbS و داده‌های حجم آب تمرکز داشتند، انتخاب شدند. در طول آماده‌سازی بررسی و پس از خواندن مقالات کامل، تنها ۴۳ مقاله به‌طور کامل هدف بررسی حاضر شده و به همین دلیل نقل شدند. از دستاوردهای NbS، تعدادی مقاله به نتیجه رسید که به جنبه‌های متعددی مانند اهداف توسعه پایدار، اثربخشی آن‌ها، تأثیر اجزای آن‌ها بر بهبود نگهداری آب، سیستم‌های جمع‌آوری آب باران و استفاده مجدد آب خاکستری اشاره داشتند.

بام‌های سبز به‌عنوان 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 (شکل۱) 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 به‌طورکلی به NbS و به‌ویژه به زیرساخت سبز به‌عنوان اقدامات پایدار برای بهبود مدیریت آب سیلاب در مناطق شهری تمرکز دارد، در حالی‌که 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.

[1]- FEMA

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]



شکل ۱- تعداد انتشارات بام سبز نمایه شده در نمایه‌های علمی (Suszanowicz & Kolasa Więcek, 2019)

Figure 1- The number of green roof publications indexed in scientific indexes

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.

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 هستند (Moore et al., 2018). 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 به‌دلیل کاهش دسترسی به آب جهانی، موضوعی حائز اهمیت است (Słyś et al., 2012). استفاده از سیستم‌های پایدار زهکشی گیاهی SUDS[1] 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 (Stovin et al., 2012).

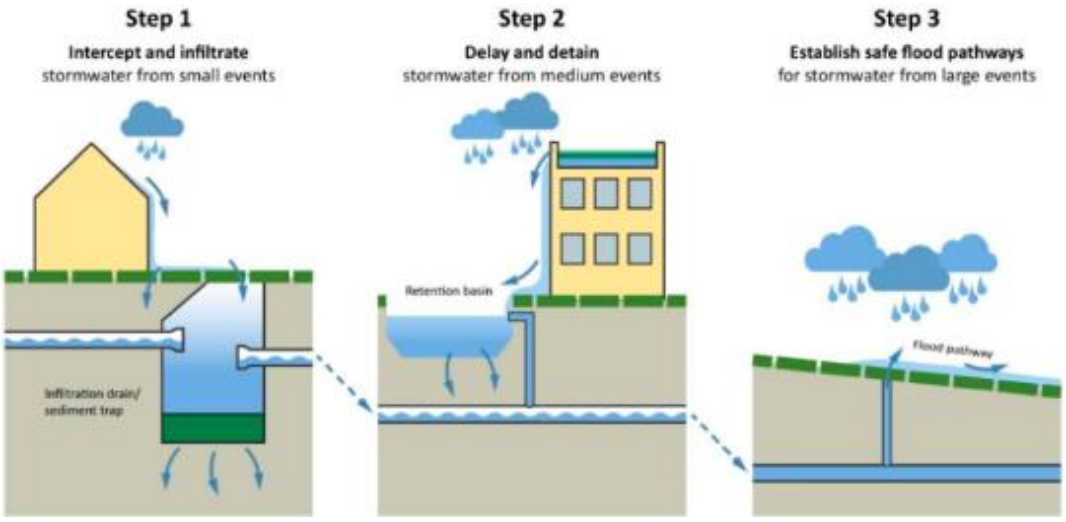
سطوح نفوذپذیر/سنگفرش‌های نفوذپذیر

سنگفرش‌های نفوذپذیر به‌عنوان یک زیرساخت شناخته می‌شوند که موجب کاهش جریان سطحی شهری و در نتیجه کاهش ورود آب به سیستم زهکشی می‌شوند (Hernández-Crespo et al., 2019). سنگفرش‌های نفوذپذیر ذخیره‌سازی (تأخیر و نفوذ) بخش قابل توجهی از ریزش‌های باران را که بر روی سطح آن‌ها می‌بارد، فراهم می‌کنند و به‌عنوان 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 می شود (Stovin et al., 2012). به‌عنوان مثال راهبردی سه مرحله‌ای که شهرداری کپنهاگ در طرح مدیریت آب سیلابی خود استفاده می‌کند و آن را زیرساخت سبز- آبی نامیده (Thodesen et al., 2022) و در سه مرحله به تصویر کشیده شده است (شکل۲). Qin و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که سنگفرش نفوذپذیر در کاهش سیلاب عملکرد بهتری در هنگام بارش‌های شدید و کوتاه مدت نسبت به بارش‌های کوچک و طولانی مدت داشت (Qin et al., 2013).

[1]- Sustainable Urban Drainage Systems

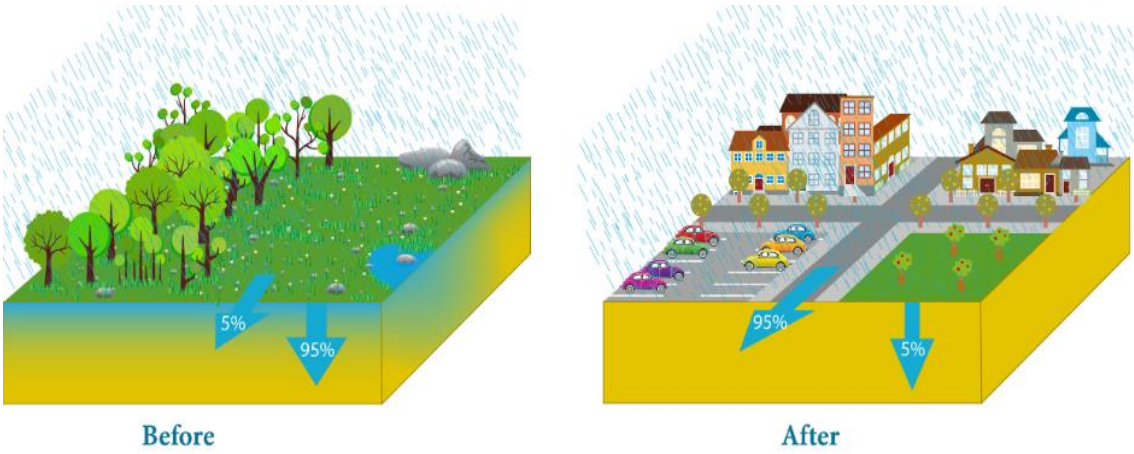
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]



شکل ۲- راهبرد سه مرحله ای نروژ برای مدیریت آب سیلابی (Thodesen et al., 2022)
Figure 2- Norway's three-stage strategy for flood water management

هنگامی‌که یک محیط طبیعی ایجاد می‌شود، بخش مهمی از سطوح غیر قابل نفوذ می‌شوند (ساختمان‌ها، جاده‌ها، پارکینگ‌ها و غیره). این امر باعث می‌شود که آب قبلاً نفوذ کرده در حال حاضر از منطقه عبور کرده و در نتیجه این آب‌بندی خاک، چرخه طبیعی آب تغییر می‌کند و حجم بیش‌تری از رواناب و جریان‌های اوج بیش‌تری تولید می‌کند همچنین از نفوذ باران به زمین و تغذیه سفره‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند (Ferrans et al., 2022)، (شکل۳).



شکل ۳- غیرقابل نفوذ شدن سطوح (Ferrans et al., 2022)
Figure 3- Impenetrability of surfaces

زیست نگهداری

باغ‌های بارانی[1] که تأسیسات زیست‌نگهداری نیز نامیده می‌شوند، یکی از روش‌های طراحی‌شده برای افزایش بازجذب رواناب توسط خاک هستند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند برای تصفیه رواناب‌های آلوده به طوفان استفاده شوند. باغ‌های بارانی مکان‌های چشم‌انداز طراحی شده‌اند که

[1]- Rain gardens

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

سرعت جریان، مقدارکل و بار آلاینده رواناب از مناطق غیرقابل نفوذ شهری مانند پشت بام‌ها، مسیرهای عبوری، پیاده‌روها، پارکینگ‌ها و مناطق چمن فشرده را کاهش می‌دهند (Kangas, 2016). باغ‌های بارانی برای حفظ آب طوفان و افزایش زمان تأخیر نفوذ به گیاهان و خاک طبیعی یا مهندسی‌شده متکی هستند و در عین حال آلاینده‌های حمل‌شده توسط رواناب شهری را اصلاح و فیلتر می‌کنند. باغ‌های بارانی روشی برای استفاده دوباره و بهینه‌سازی هر بارانی که می‌بارد، ارائه می‌کند و نیاز به آبیاری اضافی را کاهش می‌دهد (Li et al., 2009). یکی از مزایای کاشت باغ‌های بارانی، کاهش دمای هوا و آب است و در پدیده‌ای به نام اثرات جزیره گرمایی مؤثر است. در مقایسه با چمن سنتی، سیستم‌های زیست‌نگهداری به نفوذ ۳۰ درصد بیش‌تر آب به زمین اجازه می‌دهند (Bradford & Denich, 2007). عملکرد زیست‌نگهداری (عملکرد نفوذ و نگهداری) در مرحله طراحی سیستم زیست‌نگهداری بسیار حیاتی است (Li et al., 2009) و بسیار وابسته به ساختار و شرایط آب و هوایی است (Kratky et al., 2017). در مورد ارزیابی هیدرولوژیک، جریان سیلاب و حجم جریان اوج به ویژگی‌های استفاده از زمین (مانند نفوذپذیری، شیب) و به‌طور قابل توجه به مقدار و شدت رویدادهای بارشی وابسته است (Flores et al., 2015).

بام‌های سبز

بام‌های سبز نیز به‌عنوان عاملی مهم در تقویت پوشش گیاهی و فضای سبز مورد توجه قرار گرفته‌اند. کاربرد بام سبز می‌تواند به کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها 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 گلخانه‌ای در حال افزایش است و پیامدهای تغییرات آب‌وهوا بر زندگی شهری اثر می‌گذارد، کاربرد بام سبز می‌تواند گامی موثر باشد. لازم است اجزای بام سبز در راستای رویکرد ساختمان سبز، بهینه‌سازی و هوشمندسازی شوند (Song et al., 2023).

مزایای بام‌های سبز

بام‌های سبز[1] بامی که بر روی آن گیاهان رشد می‌کنند، تنوع گیاهی چنین ساختاری می‌تواند پوشیده از چمن مصنوعی تا باغ بامی باشد که با گیاهان مورد استفاده، به‌عنوان مثال (شکل۴) در طراحی منظر پوشیده شده است (Cook & Larsen, 2021). از جمله مزایای چندگانه بام‌های سبز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) خدمات چندگانه اکوسیستمی و بهبود تنوع زیستی؛ (۲) کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری؛ (۳) کاهش آلودگی هوا (جذب CO_2) و کاهش تغییرات آب و هوا؛ (۴) بهبود ارزش زیبایی‌شناختی شهرها؛ (۶) مدیریت آب‌های سیلابی و کاهش رواناب (Santos & Monteiro, 2022). با توجه به نگرانی تغییرات اقلیمی فعلی، مدیریت آب‌های سیلابی و کاهش رواناب، مهم‌ترین مزیت در مناطق شهری است که می‌تواند به‌طور بالقوه‌ای به افزایش و گسترش ایجاد بام‌های سبز در سراسر شهرها کمک کند (Qin et al., 2013) و در نتیجه فشار روی سیستم‌های مدیریت آب شهر را کاهش می‌دهند (Cristiano et al., 2021). بر خلاف بسیاری از راهبردهای زهکشی از سطح زمین، مزیت بزرگ بام‌های سبز این است که نیازی به زمین اضافی به جز زمین ساختمان که در آن‌ها اجرا می‌شوند، ندارند (Wong & Jim, 2014).



شکل ٤- برخی گونه‌های گیاهی استفاده شده در بام سبز، از چپ به راست از بالا (Grullón–Penkova et al., 2020)

Figure 4- Some plant species used in the green roof, from left to right from above

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

[1]- Green Roofs

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

ظرفیت نگهداری بام‌سبز

ظرفیت نگهداری آب باران توسط سیستم‌های بام‌سبز توسط عوامل مختلفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد: الف. عوامل اقلیمی شامل: ویژگی‌های رویداد بارشی – شدت بارش، دوره آب و هوای خشک قبلی[1] و فصل؛ ب. عوامل فیزیکی/ پارامترهای طراحی بام سبز شامل: لایه‌ها و مواد استفاده شده در سیستم، ارتفاع لایه ماده زیستی، ویژگی‌های هیدرولیکی ماده زیستی، گیاهان و درصد پوشش بام، هندسه، شیب و سن بام سبز.

الف. عوامل اقلیمی

– شدت/مدت رویداد

مطالعات بام‌سبز نشان داده‌اند که میزان نگهداری میانگین آب باران وابسته به عوامل متعددی مانند وضعیت‌های آب و هوایی محلی (دمای هوا، روزهای آب و هوای خشک قبلی و الگو و شدت رویدادهای بارشی) است. به‌طور معمول، نگهداری بیش‌تر حجم بارش در رویدادهای بارش با شدت کم و مدت متوسط مشاهده می‌شود. رطوبت محیط رشد به طرز چشم‌گیری تحت تأثیر شدت بارش قرار می‌گیرد (که با بزرگی رویداد بارش مرتبط است) و بنابراین توسط ظرفیت نگهداری آب سیلاب و رواناب تأثیر می‌پذیرد. علاوه‌بر این، شرایط آب‌وهوایی قبل از رویداد بارش نیز بر رطوبت محیط رشد تأثیر می‌گذارد؛ با شرایط رطوبت محیطی بالاتر، ظرفیت نگهداری توسط محیط رشد کم است و از این رو آب سیلاب از سیستم بیش‌تر خارج می‌شود (Cook & Larsen, 2021).

– شرایط خشک قبل از بارش/ فصل

عملکرد نگهداری آب GR به فصل بستگی دارد و ظرفیت نگهداری بیش‌تر در ماه‌هایی با دمای هوای ملایم (بهار و اوایل تابستان) مشاهده می‌شود که با شرایط رطوبتی محیط رشد و شرایط خشک قبل از بارش مرتبط است (Graceson et al., 2013). در طول فصل زمستان، با بارش فراوان و میزان تبخیر و تعرق کم، کارایی GR در نگهداری آب کاهش می‌یابد. یک مطالعه انجام شده در ایتالیا، نشان داد که سیستم‌های GR مورد آزمایش قادر به نگهداری ۵۷/۵ درصد 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 ویژگی‌های خود رویداد بارش قرار می گیرد (Piro et al., 2018). 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 (Nawaz et al., 2015). از آن‌جاکه انسان‌ها قادر به تغییر شرایط آب و هوایی نیستند، ویژگی‌های فیزیکی یک سیستم (ترکیب لایه‌ها و مواد) ویژگی‌های تأثیرگذار اصلی هستند که می‌توانند تغییر کنند و به شرایط محیطی و آب و هوایی محلی سازگار شوند.

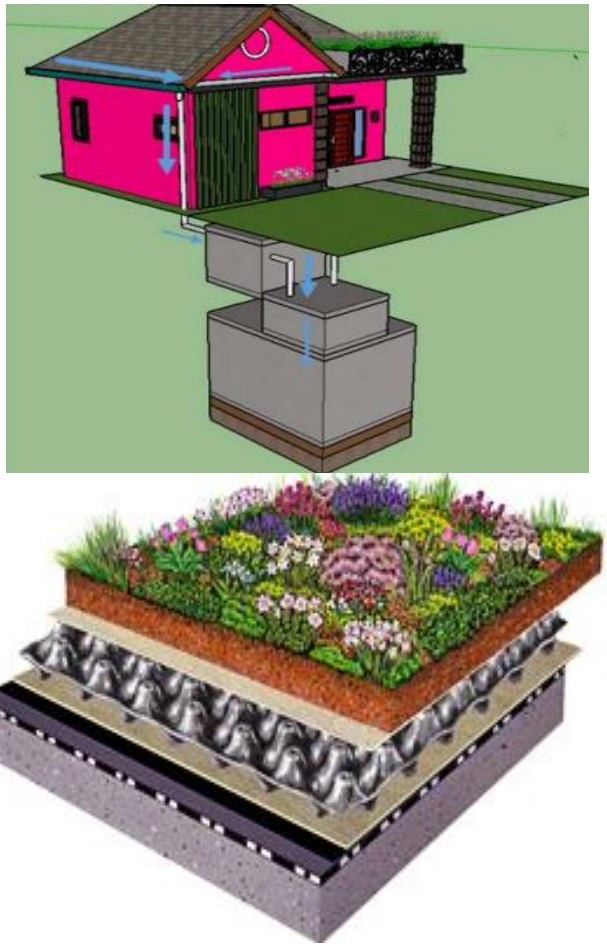
ب: عوامل فیزیکی GR/ پارامترهای طراحی

در طول یک رویداد بارش، سیستم‌های GR آب باران را می‌گیرند و اجازه نفوذ آن به محیط رشد را داده و موجب ذخیره آن در لایه زهکشی می‌شوند (شکل۵) (Silva et al., 2019). پس از رسیدن به ظرفیت اشباع، آب اضافه‌ای که به سیستم باریده است، به سیستم زهکشی شهری روانه می‌شود یا به علت تبخیر و تعرق گیاهان بخار می‌شود (Stovin et al., 2012). 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 می‌کند و اولویت به موادی با ظرفیت نگهداری آب بالا داده می‌شود (Monteiro et al., 2016).

[1]- ADWP

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]



شکل ۵- سیستم برداشت آب باران (Pudyastuti et al., 2020)
Figure 5- Rainwater harvesting system

-طراحی سیستم GR (گسترده، نیمه گسترده یا فشرده (شکل ٦)

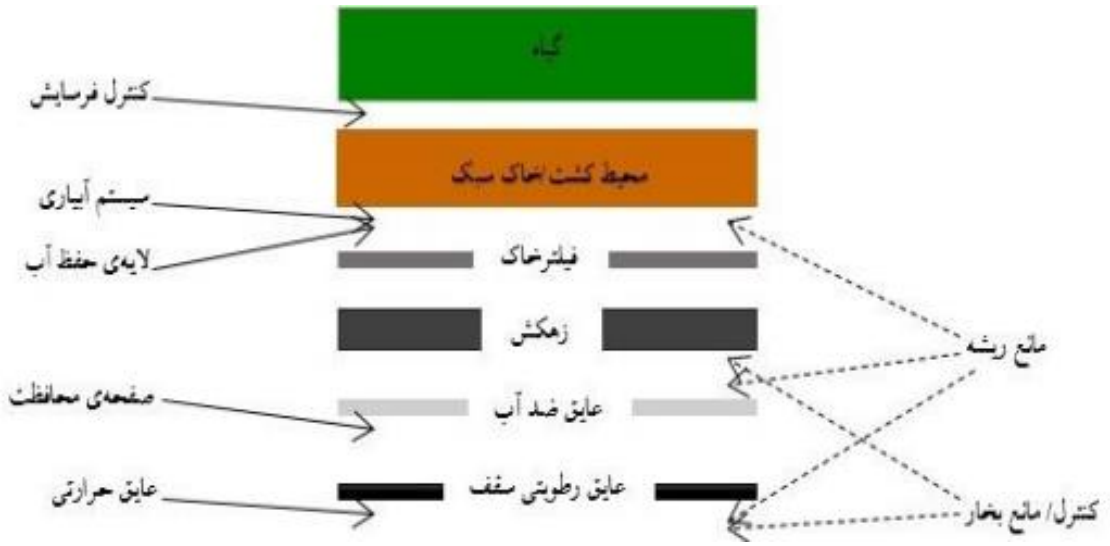
نگهداری آب در سیستم‌های GR به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و منابع علمی مختلف به قدرت قابل توجهی در نگهداری باران با سیستم‌های GR گسترده اشاره دارند، که نرخ بالایی از نگهداری آب سیلاب و کاهش جریان را نشان می‌دهد (Zhang et al., 2021). گزارش شده است که عمق ماده محیط رشد بر ظرفیت نگهداری آب باران تأثیر می‌گذارد (Graceson et al., 2013). هم‌چنین بارش سالانه که می‌تواند توسط GR نگهداری شود، به ضخامت و نوع محیط رشد بستگی دارد و منجر به کاهش جریان اوج می‌شود (Bradford & Denich, 2007). ذخیره جریان سطحی نه تنها توسط شدت رویداد بارش بلکه توسط عمق محیط رشد تحت تأثیر قرار می‌گیرد: بنابراین، ارتفاع ماده محیط رشد نقش مهمی بر عملکرد GR دارد (Buccola & Spolek, 2011).

ویژگی‌ها و ترکیبات ماده محیط رشد (شکل۷) از عوامل تأثیرگذار عمده‌ای است که بر نگهداری آب سیستم‌های GR تأثیر می‌گذارد (یا ظرفیت نگهداری آب) (Graceson et al., 2013). باریلا و همکاران، (Baryła et al., 2018) گزارش کردند که محیط‌های رشد GR با ترکیبی از مواد معدنی و آلی در ساختار خود، توانایی نگهداری آب بالاتری نسبت به محیط‌های رشد تشکیل شده از تنها مواد معدنی را دارند. یک مطالعه دیگر نشان داد که لایه‌ای از سرامیک ریز، ظرفیت نگهداری آب باران را در مقایسه با همان لایه ماده محیط رشد خشن دو برابر می‌کند (Graceson et al., 2013). یک مطالعه پیشرفته که ویژگی‌های 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 می‌شود و انتخاب آن باید با دقت صورت گیرد تا خطر حذف مزایای سیستم‌های سبز در ارتباط با پایداری را به همراه نداشته باشد (Bollman et al., 2019).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

شکل ٦- ترکیب ماده محیط رشد GR/گونه‌های گیاهی (Bąk & Barjenbruch, 2022)

Figure 6- Composition of GR growth medium/plant species



شکل ۷- شمای کلی لایه‌های بام سبز و محل قرارگیری لایه‌ها که در منابع مختلف به آن‌ها اضافه میشوند (برگرفته از اینترنت)

Figure 7- The overview of the layers of the green roof and the location of the layers that are added to them in different sources (taken from the Internet)

درباره نوع گیاهی که در سیستم‌های GR استفاده می‌شود، گزارش شده که گونه‌های گیاهی عامل کلیدی موثر بر مقدار جریان سطحی نیستند (Buccola & Spolek, 2011). اما در پژوهشی دیگر، در سیستم‌های پایلوت 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 (Bortolini et al., 2021). 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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

گیاهان در تک گونه و ترکیبی بود تا در صورتی که بیشینه‌سازی نگهداری آب باران (و کاهش جریان آب) هدف GR باشد، انتخاب مناسبی از گونه‌های گیاهی امکان‌پذیر شود (Nagase & Dunnett, 2012). محققان تفاوت قابل توجهی در حجم تخلیه آب در مقایسه گونه‌های گیاهی به‌دلیل تفاوت در اندازه و ساختار اعلام کردند: چمنزارها بیش‌ترین کاهش را داشتند (به‌دلیل ارتفاع بلند آن‌ها) در حالی‌که گیاه سدوم کم‌ترین کاهش را داشت (به‌دلیل ارتفاع کوتاه و کاهش جذری ریشه). علاوه‌بر گونه‌های گیاهی، پوشش کلی GR نیز برای مدیریت موثر آب توصیه می‌شود (Nagase & Dunnett, 2012). مطالعه‌ای که توسط لیو و همکاران در سال ۲۰۱۹، (Liu et al., 2019)، انجام شد نتیجه گرفت که GRها با موفقیت آب باران را ذخیره می‌کنند، و تأخیر در آغاز جریان آب به‌طور 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 درشرایط 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 می گذارد، که این باعث می‌شود نتایج به‌دست آمده از تحقیقات علمی دشوار باشد. با این حال، برخی جنبه‌ها جهانی هستند:

پارامترهای آب‌شناسی مورد ارزیابی در حفظ آب طوفانی

الف. محتوای رطوبت حجمی (VMC)[1]

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 مقادیر 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 (Cook & Larsen, 2021).

ب. تبخیر و تعرق (ET)[2]

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 (Silva et al., 2019). 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 (Nagase & Dunnett, 2012). بنابراین، افزایش ET تمام مزایای مربوط به مدیریت آب سیلابی سیستم GR را بهبود می‌بخشد. ET با مقاومت روزنه‌ای گیاه (که روزانه تغییر می‌کند) و شاخص سطح برگ[3] (که فصلی تغییر می‌کند) مرتبط است (Cook & Larsen, 2021). شاخص سطح برگ بین گونه‌های گیاهی متفاوت متغیر است و مساحت سطحی که برای تعرق گیاهی در دسترس است را نشان می‌دهد. هرچه شاخص LAI بالاتر باشد، سطح گیاهی برای تبخیر و تعرق بیش‌تر است. با این حال، هنگامی‌که پوشش گیاهی کاهش یابد، ET بیش‌تر است (Cook & Larsen, 2021).

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 می شود (Cook & Larsen, 2021). ضریب رواناب نشان‌دهنده مقدار ظرفیت نگهداری آب در GRs است (Monteiro et al., 2016). Gioaomello و همکاران (Giacomello & Gaspari, 2021)، 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 حالی‌که GRs ۲۰ درصد 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 درصد به‌دست آمد. باید به‌خاطر داشت که کلیه این پارامترهای هیدرولوژیکی به ویژگی‌ها و شرایط آب و هوایی GRs مرتبط هستند. به‌همین دلیل، گزارش شده است که محتوای رطوبت قبلی محیط رشد GRs تأثیر منفی بر کاهش رواناب (ضریب رواناب) و زمان شروع تخلیه آب دارد (Liu et al., 2019).

[1]- Volumetric Moisture Content
[2]- Evaporation and Transpiration
[3]- LAI

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

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. به‌عنوان 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 (Cook & Larsen, 2021).

معایب بام سبز

هر بام سبز چندلایه‌ای (شکل ۸) یک سیستم زنده منحصربه‌فرد است و محدودیت‌هایی نیز دارد. به‌خصوص در سال‌های اول توسعه گیاهان در سیستم‌های GRs گسترده، ممکن است مشکل شستشو به‌دلیل استفاده از کودها وجود داشته باشد که باید اجتناب یا حداقل کاهش یابد. علاوه‌بر این، به‌منظور جلوگیری از آلودگی آب، کنترل دفع اولیه GRs باید مدنظر قرار گیرد، به‌عنوان 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 (Santos & Monteiro, 2022). از دیگر موارد این است که نصب این سیستم گیاهی در ساختمان‌های قدیمی ممکن است به دلیل بار اضافی مورد نیاز، مناسب نباشد. به‌همین 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 (Cristiano et al., 2021). 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 (Pudyastuti et al., 2020)
Figure 8- Green roof layers

پذیرش جهانی بام‌های سبز و مزایای زیست محیطی آن‌ها

بام‌های سبز به‌دلیل مزایای زیست محیطی آن‌ها، از جمله کاهش اثر جزیره حرارتی شهری، مدیریت آب باران و بهبود کیفیت هوا، در سراسر جهان محبوبیت پیدا کرده‌اند (Cities, 2023). پذیرش و پوشش بام‌های سبز در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است و تحت تأثیر عواملی مانند سیاست‌های دولتی، برنامه‌ریزی شهری و آگاهی زیست‌محیطی قرار دارد. بر اساس مطالعات اخیر، مساحت کل بام‌های سبز در جهان بیش از ۱۰۰ میلیون متر مربع تخمین زده می‌شود و این رقم با پذیرش بیش‌تر شهرها از زیرساخت‌های سبز برای مقابله با تغییرات اقلیمی و اثرات شهری شدن به‌طور مداوم در حال افزایش است. آلمان با بیش از ۸۶ میلیون‌متر مربع بام سبز، به‌عنوان پیشگام در این حوزه شناخته می‌شود و آمریکا نیز با شهرهایی مانند نیویورک، شیکاگو و واشنگتن، دی.سی. در نصب بام‌های سبز پیشرو است. کانادا با قانون بام سبز تورنتو و چین با سرمایه‌گذاری سنگین در بام‌های سبز، از جمله کشورهای برتر در این زمینه هستند (Roofs, 2023). کشورهای اروپایی مانند سوئیس، فرانسه و دانمارک نیز به‌دلیل سیاست‌ها و مشوق‌های محیط زیستی قابل توجه، پوشش بام سبز قابل

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

توجهی دارند. اروپا تاریخ طولانی در اجرای بام‌های سبز دارد و انجمن بام سبز اروپا (EGRI[1]) پذیرش و استانداردسازی بام‌های سبز در سراسر قاره را ترویج می‌دهد. آمریکای شمالی نیز با سیاست‌های بام سبز محکم در شهرهایی مانند تورنتو و شیکاگو پیشرو است (Roofs, 2023). در آسیا، چین، ژاپن و سنگاپور به سرعت مساحت بام سبز خود را افزایش می‌دهند. بام‌های سبز مزایایی از جمله کاهش اثر جزیره حرارتی شهری، بهبود کیفیت هوا، افزایش تنوع زیستی، صرفه‌جویی در انرژی و بهبود زیبایی‌شناسی شهری دارند. با این حال، اجرای بام سبز با چالش‌هایی مانند هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به نگهداری و دانش و مواد تخصصی مواجه است که اغلب از طریق مشوق‌های دولتی، یارانه‌ها و کمپین‌های آگاهی عمومی حل می‌شوند. آینده بام‌های سبز امیدوارکننده به‌نظر می‌رسد زیرا شهرهای بیش‌تری در سراسر جهان نیاز به توسعه پایدار شهری را تشخیص می‌دهند و پیشرفت‌های فناوری و سیاست‌های حمایتی انتظار می‌رود که رشد بیش‌تری در این بخش ایجاد کنند. بام‌های سبز یک جزء حیاتی از زیرساخت‌های پایدار شهری هستند که در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا به‌طور گسترده پذیرفته شده‌اند و رشد بیش‌تری پیش‌بینی می‌شود.

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 به‌صورت‌های نوآورانه برای حفظ عملکرد مناطق طبیعی شهری (از نظر کیفیت و کمیت آب) تمرکز دارند، علاوه‌بر 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 به‌عنوان یک روش بسیار موثر شناخته شده است که در شهر، اقداماتی مانند سنگفرش‌های نفوذپذیر و تراوایی، سیستم‌های زیست نگهداری، 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 به‌دلیل چالش‌های اساسی مرتبط با اجرا و آزمون در محل مانند هزینه‌های بالا و نیازهای نگهداری باشد. بام‌های سبز به‌عنوان اصلی‌ترین راه‌کارهای سیستم‌های طبیعی مبتنی بر نگرش نوین (NbS) در مناطق شهری هستند. مزیت بام‌های سبز، به‌طور 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 به‌طور 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 به‌صورت تئوری باقی مانده‌اند. علاوه‌بر 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، است. 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.

نتیجه‌گیری

بسیاری از مزایای قابل توجه ناشی از اجرای سیستم‌های NbS در اکوسیستم‌های شهری، به‌ویژه کارآیی مدیریت آب با تضمین توسعه فناوری و کارآیی هزینه‌ای می‌تواند ایجاد شود. به‌همین دلیل، دولت‌ها در سراسر جهان اقدام به نصب سیستم‌های NbS برای بهره‌برداری از مزایای آن‌ها کرده‌اند و دستورالعمل‌هایی را دنبال کرده‌اند که با تحقیقات انجام شده، توسعه یافته‌اند. نیاز به تحقیقات بیش‌تر با نتایج

[1]- European Green Roof Infrastructure

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

قابل فهم وجود دارد تا به درک واقعی از تأثیرات مثبت سیستم‌های NbS در دوره‌های کوتاه و بلند مدت کمک کند و در نتیجه منجر به اخذ تصمیم‌گیری بهتر شود. عملکرد بسیار خوب سیستم‌های NbS (به‌ویژه بام‌های سبز) با پیروی از برخی توصیه‌ها زیر قابل دستیابی است. از آن‌جایی‌که الگوهای بارش به‌دلیل تغییرات اقلیمی در حال تغییر هستند. به‌همین دلیل، انتخاب و معیارهای طراحی سیستم‌های NbS باید به هر منطقه، شرایط آب و هوایی محلی (با توجه به الگوی بارش و روان‌آب) و هدف مورد نظر، تطبیق داده شوند تا موفقیت و کارآیی بالاتری در اجرای سیستم‌های NbS با مقاومت بالاتر در مقابل آب حاصل شود. در مدیریت آب و سیستم‌های نگهداری آب باران، مواد مورد استفاده در لایه زیرکشت و لایه زهکشی نسبت به عملکرد هیدرولیک نقش مهمی دارند.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: دیتاست‌ها برای درخواست مناسب به نویسنده اول در دسترس هستند.

حمایت مالی: این تحقیق هیچ‌گونه حمایت مالی دریافت ننموده است.

مشارکت نویسندگان: افسون کامیاب و داود صمصام‌پور تمام بخش‌های تحقیق را انجام داده و مقاله را نوشتند.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان این مقاله، از معاونت پژوهشی دانشگاه هرمزگان قدردانی می‌نمایند.

References

1. Bąk, J., & Barjenbruch, M. (2022). Benefits, inconveniences, and facilities of the application of rain gardens in urban spaces from the perspective of climate change-A review. *Water*, *14*(7), 1153 . https://doi.org/10.3390/w14071153
2. Baryła, A., Karczmarczyk, A., & Bus, A. (2018). Role of substrates used for green roofs in limiting rainwater runoff. *Journal of Ecological Engineering*, *19*(5), 86--92 .
3. Bollman, M. A., DeSantis, G. E., DuChanois, R. M., Etten-Bohm, M., Olszyk, D. M., Lambrinos, J. G., & Mayer, P. M .(2019) .A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media. *Ecological Engineering*, *140*, 105589 .https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105589
4. Bortolini, L., Bettella, F., & Zanin, G. (2021). Hydrological behaviour of extensive green roofs with native plants in the humid subtropical climate context. *Water*, *13*(1), 1-14 .https://doi.org/10.3390/w13010044
5. Bradford, A., & Denich, C. (2007). Rainwater management to mitigate the effects of development on the urban hydrologic cycle. *Journal of Green Building*, *2*(1), 37-52 .https://doi.org/10.3992/jgb.2.1.37
6. Buccola, N., & Spolek, G. (2011). A pilot-scale evaluation of greenroof runoff retention, detention, and quality. *Water, Air, & Soil Pollution*, *216*, 83-92 .https://doi.org/10.1007/s11270-010-0516-8
7. Cities, G. R. f. H (2023) .
8. Cook, L. M., & Larsen, T. A. (2021). Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: An interdisciplinary review. *Building and Environment*, *188*, 107489 .https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107489
9. Cristiano, E., Deidda, R., & Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of the Total Environment*, *756*, 143876 .https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876
10. Directive, S. F. (2008). Directive 2008/56/EC of The European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union, L 164/19, 22 p.*
11. Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Sánchez, J. P. R. (2022). Sustainable urban drainage system (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of the Total Environment*, *806*, 150447 .https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447
12. Flores, P. E. D., Maniquiz-Redillas, M. C., Tobio, J. A. S., & Kim, L.-H. (2015). 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*, *31*(1), 12-18 . http://dx.doi.org/10.15681/KSWE.2015.31.1.12
13. Freitag, R. C., Abramson, D. B., Chalana, M., & Dixon, M. (2014). Whole community resilience: An asset-based approach to enhancing adaptive capacity before a disruption. *Journal of the American Planning Association*, *80*(4), 324-335 .https://doi.org/10.1080/01944363.2014.990480
14. Giacomello, E., & Gaspari, J. (2021). Hydrologic performance of an extensive green roof under intense rain events: Results from a Rain-Chamber Simulation. *Sustainability*, *13*(6), 3078 . https://doi.org/10.3390/su13063078
15. Graceson, A., Hare, M., Monaghan, J., & Hall, N. (2013). The water retention capabilities of growing media for green roofs. *Ecological Engineering*, *61*, 328-334 .https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.030

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

16. Grullón–Penkova, I. F., Zimmerman, J. K., & González, G. (2020). Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics. *Heliyon*, *6* (8). https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(20)31555-3
17. Hernández-Crespo, C., Fernández-Gonzalvo, M., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2019). Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements. *Science of the Total Environment*, *684*, 303-313. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.271
18. Huang, Y., Tian, Z., Ke, Q., Liu, J., Irannezhad, M., Fan, D., Hou, M., & Sun, L. (2020). Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, *7*(3), e1421 . https://doi.org/10.1002/wat2.1421
19. Jarden, K. M., Jefferson, A. J., & Grieser, J. M. (2016). Assessing the effects of catchment-scale urban green infrastructure retrofits on hydrograph characteristics. *Hydrological Processes*, *30*(10), 1536-1550 . https://doi.org/10.1002/hyp.10736
20. Kangas, D. (2016). Evaluating stormwater management techniques for dense urban areas using multi-criteria decision analysis .
21. Kooijman, E. D., McQuaid, S., Rhodes, M.-L., Collier, M. J., & Pilla, F. (2021). Innovating with nature: From nature-based solutions to nature-based enterprises. *Sustainability*, *13*(3), 1263 . https://doi.org/10.3390/su13031263
22. Kratky, H., Li, Z., Chen, Y., Wang, C., Li, X., & Yu, T. (2017). A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, *11*, 1-15 .https://doi.org/10.1007/s11783-017-0982-y
23. Li, H., Sharkey, L. J., Hunt, W. F., & Davis, A. P. (2009). Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland. *Journal of Hydrologic Engineering*, *14*(4), 407-415. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:4(407)
24. Liu, W., Feng, Q., Chen, W., Wei, W., & Deo, R. C. (2019). 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*, *569*, 230-238. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.066
25. Monteiro, C. M., Calheiros, C. S., Pimentel-Rodrigues, C., Silva-Afonso, A., & Castro, P. M. (2016). Contributions to the design of rainwater harvesting systems in buildings with green roofs in a Mediterranean climate. *Water Science and Technology*, *73*(8), 1842-1847 .https://doi.org/10.2166/wst.2016.034
26. Moore, T. L., Rodak, C. M., Ahmed, F., & Vogel, J. R. (2018). Urban stormwater characterization, control and treatment. *Water Environment Research*, *90*(10), 1821-1871 . https://doi.org/10.2175/106143018X15289915807452
27. Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and urban planning*, *104*(3-4), 356-363 .https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.001
28. Nawaz, R., McDonald, A., & Postoyko, S. (2015). Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, *82*, 66-80 . https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.061
29. Pathak, A., Glick, P., Hansen, L. J., Hilberg, L. E., Ritter, J., & Stein, B. A. (2022). Incorporating Nature-based Solutions Into Community Climate Adaptation Planning. In: Climate Smart Communities Series.
30. Piro, P., Carbone, M., De Simone, M., Maiolo, M., Bevilacqua, P., & Arcuri, N. (2018). Energy and hydraulic performance of a vegetated roof in sub-Mediterranean climate. *Sustainability*, *10*(10), 3473 . https://doi.org/10.3390/su10103473
31. Pudyastuti, P. S., Kalista, F., Wibowo, G. D., & Budinetro, H. S. (2020). Small Scale Integrated Sustainable Roof Design (Case Study in Surakarta City). *Civil Engineering and Architecture*, *8*(4), 500-506 .DOI: 10.13189/cea.2020.080413
32. Qin, H.-p., Li, Z.-x., & Fu, G. (2013). The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, *129*, 577-585 . https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026
33. Roofs, C. o. T. G . (2023) .
34. Santos, C., & Monteiro, C. M. (2022). Green roofs influence on stormwater quantity and quality: a review. *Stormwater*, 1-21 .http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.101952
35. Silva, M. d., K. Najjar, M., WA Hammad, A., Haddad, A., & Vazquez, E. (2019). Assessing the retention capacity of an experimental green roof prototype. *Water*, *12*(1), 90 .https://doi.org/10.3390/w12010090
36. Słyś, D., Stec, A., & Zeleňáková, M. (2012). A LCC analysis of rainwater management variants. *Ecological Chemistry and Engineering S*, *19*(3), 359-372 .https://doi.org/10.2478/v10216-011-0026-7
37. Song, K., Seok, Y., & Chon, J. (2023). Nature-based restoration simulation for disaster-prone coastal area using green infrastructure effect. *International journal of environmental research and public health*, *20*(4), 3096 .https://doi.org/10.3390/ijerph20043096

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]

38. Speak, A., Rothwell, J., Lindley, S., & Smith, C. (2013). Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Total Environment*, *461*, 28-38 .https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.085
39. Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H .(۲۰۱۲) .The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, *414*, 148-161 . https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022
40. Suszanowicz, D., & Kolasa Więcek, A. (2019). The impact of green roofs on the parameters of the environment in urban areas .*Atmosphere*, *10*(12), 792 .https://doi.org/10.3390/atmos10120792
41. Thodesen, B., Time, B., & Kvande, T. (2022). Sustainable Urban Drainage Systems: Themes of Public Perception—A Case Study. *Land*, *11*(4), 589 .https://doi.org/10.3390/land11040589
42. Vojinovic, Z., Alves, A., Gómez, J. P., Weesakul, S., Keerakamolchai, W., Meesuk, V & ,.Sanchez, A. (2021). Effectiveness of small-and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: The case of Ayutthaya, Thailand. *Science of the Total Environment*, *789*, 147725 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147725
43. Wong, G. K., & Jim, C. Y. (2014). Quantitative hydrologic performance of extensive green roof under humid-tropical rainfall regime. *Ecological Engineering*, *70*, 366-378 . https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.025
44. Zhang, K., & Chui, T. F. M. (2019). A review on implementing infiltration-based green infrastructure in shallow groundwater environments: Challenges, approaches, and progress. *Journal of Hydrology*, *579*, 124089 .https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124089
45. Zhang, S., Lin, Z., Zhang, S., & Ge, D. (2021). Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations. *Journal of environmental management*, *291*, 112682 .https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112682

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.6.3]