

Research Article



Investigating the best low-Impact Development (LID) method for urban runoff management using Analytical Hierarchy Process (AHP) (Case study: Khomeinishahr)

Kamel Rezaei Adriani¹, Majid Riahi Samani^{2*}, Moslem Gheibi Hajivar¹

¹ Department of Civil Engineering, Ti.C., Islamic Azad University, Tiran, Iran.

² Department of Civil Engineering, Kho.C., Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran.

Corresponding Author email: majidriahisamani@iau.ac.ir

© The Author (s) 2025

Received: 11 Feb 2025

Revised: 06 Apr 2025

Accepted: 10 May 2025

Published: 18 May 2025

Extended Abstract

Introduction

Urban floods, due to their severe economic, social, and environmental consequences, pose a critical challenge for municipal management. In arid and semi-arid regions like Khomeinishahr, rapid urbanization has increased impervious surfaces, exacerbated runoff and reducing groundwater recharge. Low Impact Development (LID) techniques have emerged as innovative solutions to restore natural hydrological cycles and mitigate flood risks. These methods emphasize infiltration, retention, and reuse of stormwater, while concurrently improving air quality, mitigating urban heat islands, and enhancing green cover. However, selecting optimal LID strategies depends on multifaceted factors, including climatic conditions, hydrological properties, economic constraints, and social acceptability. This study employs the Analytical Hierarchy Process (AHP) to prioritize LID techniques for urban runoff management in Khomeinishahr, offering a data-driven framework to address flood vulnerabilities.

Materials and Methods

This research integrates literature review and expert surveys to evaluate LID strategies against 14 key criteria (e.g., climate, slope, cost, space availability, land use). Data were collected through questionnaires administered to 30 domain experts and analysis of regional hydrological reports. The assessed LID techniques included green roofs, infiltration trenches, constructed wetlands, bioswales, permeable pavements, and bioretention systems. The AHP-based decision-making process involved:

Hierarchy Construction: Defining the goal (optimal LID selection), criteria, and alternatives.

Pairwise Comparisons: Assigning relative weights to criteria and alternatives using a 1–9 scale.

Weight Calculation: Synthesizing local and global weights via the Expert Choice software.

Sensitivity Analysis: Testing result robustness against criterion weight variations.

Modeling accounted for region-specific constraints, such as high urban density, limited land availability, and a hot, dry climate.

Results and Discussion

The AHP analysis identified green roofs (weight: 14.5%) as the most effective solution, given their multifunctional benefits: runoff volume reduction (up to 80%), urban cooling, air pollution mitigation, and energy savings. Infiltration trenches (12.3%) were recommended citywide, while constructed wetlands (10.1%) were prioritized for southern agricultural zones.

Key Influential Criteria: Climate (19.9% weight): Adaptation to high temperatures and erratic rainfall; Cost-Space Efficiency (15.2%): Green roofs' feasibility in dense urban fabric; Pollution/Temperature Reduction (12%): Green roofs' role in particulate capture and heat island mitigation.

Implementation Challenges: Public Awareness: Citizen engagement for rooftop greening initiatives; Structural Costs: Upfront expenses and technical requirements (e.g., load-bearing capacity); Spatial Limitations: Narrow streets hindering trench deployment.

Comparative studies (e.g., Izanloo and Bardi Sheikh's work in Bojnourd and Uda's Sydney case) corroborated the preference for infiltration-based systems. A multifunctional approach (e.g., hybrid green roof-wetland systems) is proposed for similar regions.

Conclusion

This study demonstrates the efficacy of AHP in prioritizing LID strategies for Khomeinishahr's runoff management. Green roofs, complemented by infiltration trenches and wetlands, offer a holistic solution to flood risks while delivering co-benefits. Municipal authorities should incentivize public participation and integrate these techniques into urban planning frameworks.

Keywords: Low Impact Development (LID), Urban runoff management, Analytical Hierarchy Process (AHP), Green roofs, Khomeinishahr

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Kamel Rezaei Adriani: Writing, Methodology, Investigation & Data Collection, Software, Analysis; **Majid Riahi Samani:** Supervision, Writing, Editing, Methodology, and Validation; **Muslim Ghaibi Hajivor:** Supervision, Methodology, Software, and Data Analysis.

Citation: Rezaei Adriani, K., Riahi Samani, M., & Ghaibi Hajivor, M. (2024). Investigating the best low-impact development (LID) method for urban runoff management using analytical hierarchy process (AHP): Case study of Khomeinishahr. *Technical Strategies in Water Systems*, 2(4), 339-362. <https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1203763>

Publisher: Islamic Azad University, Isfahan Branch



بررسی بهترین روش توسعه کم اثر (LID) برای مدیریت رواناب شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: شهر خمینی شهر)

کامل رضایی آدریانی^۱، مجید ریاحی سامانی^{۲*}، مسلم غیبی حاجیور^۱

۱. گروه مهندسی عمران، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، ایران.

۲. گروه مهندسی عمران، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: majidriahisamani@iau.ac.ir

© The Author (s) 2025

چاپ: ۱۴۰۴/۲/۲۸

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

چکیده

امروزه آشنایی با خطرات سیلاب‌های شهری به دلیل آثار زیانباری که ایجاد می‌کند، چگونگی ارزیابی و مقابله با آن از اهمیت بسیاری در سیستم‌های مدیریت شهری برخوردار است. آثار نامطلوب وقوع سیلاب در مناطق شهری را از نظر شدت خسارات وارد شده می‌توان با خسارات ناشی از طوفان، خشکسالی، زمین‌لرزه و رانش زمین مقایسه کرد. در سال‌های اخیر روش‌های توسعه کم اثر (LID) به عنوان روشی شناخته شده، بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راه حل را در مدیریت و کاهش اثرات منفی سیلاب شهری ارائه نموده است. هر چندکه ظهور ابزارهای توسعه کم اثر در مدیریت آب‌های سطحی و حفظ کیفیت آن بسیار موثر است، ولی جانمایی، اجرا و بهره‌برداری بهینه این روش‌ها به شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقتصادی و ... منطقه بستگی دارد. هدف از این مقاله استفاده از روش (AHP) در انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر در مدیریت رواناب شهری خمینی شهر است. در این راستا چهارده معیار از میان کلیه معیارها و گزینه‌های موجود در انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر توسط سی کارشناس خبره، گزینش شد و پس از انجام مقایسه‌های زوجی بین معیارها و گزینه‌ها، بر اساس نظرات ارائه شده، نتایج حاصل از مقایسه‌ها به ساختار تحلیل سلسله مراتبی تبدیل شد. نتایج حاصل از این تحقیق با مدلسازی در نرم‌افزار تحلیل سلسله مراتبی (Expert Choice) نشان داد روش بام سبز و ترانشه نفوذ در شهر خمینی شهر آثار مطلوبی در دفع، کنترل و استفاده از رواناب‌ها دارند. طبق نتایج نرم‌افزار روش بام سبز در حوضه شمالی و شمال شهر با توجه به وجود بیشترین ساخت و ساز و سطح اشغال بهترین گزینه معرفی شد. ترانشه نفوذ در تمام شهر خمینی شهر باید در دستور کار قرار گیرد و تالاب مصنوعی در حوضه جنوب شهر به علت وجود باغ‌ها و اراضی کشاورزی بهترین گزینه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: توسعه کم اثر (LID)، مدیریت رواناب شهری، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، بام‌های سبز، خمینی شهر

استناد: رضایی آدریانی، ک، ریاحی سامانی، م، و غیبی حاجیور، م. (۱۴۰۳). بررسی بهترین روش توسعه کم اثر (LID) برای مدیریت رواناب شهری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مطالعه موردی: شهر خمینی شهر. راهبردهای فنی در سیستم‌های آبی، ۲(۴)، ۳۳۹-۳۶۲

<https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1203763>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

۱- مقدمه

توسعه شهرها تغییرات قابل توجهی به فرایند چرخه هیدرولوژی وارد کرده است و به طور خاص باعث افزایش سطوح نفوذ ناپذیر، تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریان پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی شده است (Shuster et al., 2005). در نتیجه این تغییرات، بهره‌گیری از سیستم هیدرولیک شهری در کنترل سیلاب‌ها مستلزم توجه خاصی به ساختار شهری است (Putnam, 1972). همچنین این موضوع لزوم استفاده از سیستم‌های نوین با حداقل اثرات تخریبی و افزایش بهره‌وری را ضروری ساخته است (Jia et al., 2013). در روش‌های نوین کنترل سیلاب‌های شهری، سعی بر نگهداشت بدون تاثیرگذاری مخرب سیلاب به جای دفع سریع آن می‌باشد. در این روش‌ها علاوه بر تغذیه آب‌های زیرزمینی، صدمات ناشی از سیلاب در مناطق پایین دست و هزینه‌های کنترل سیلاب با استفاده از نگهداری، ذخیره و نفوذ آب به زمین تا حد زیادی کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های مدیریت رواناب شهری روش توسعه کم اثر است. روش‌های توسعه کم اثر مجموعه روش‌هایی است که در مناطق در حال توسعه با کمترین اثرات منفی بر این مناطق استفاده می‌شوند در حالیکه این روش برای حفظ یا بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی یک حوضه آبریز و بهبود محیط زیست در آن حوضه است. روش توسعه کم اثر اولین بار در منطقه پرنس جرج ماریلند^۱ در اوایل سال ۱۹۹۰ آغاز شد و به سرعت در حال رشد است. روش‌های توسعه کم اثر برای حل مشکل رواناب‌های ایجاد شده در مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی حومه شهر پرنس جرج، جهت محافظت از منابع طبیعی گسترش پیدا کردند. این روش‌ها بر مدیریت سیلاب در منبع از طریق استفاده از فنون برنامه‌ریزی که به عنوان تکنیک‌های غیرسازه‌ای و یا کنترل‌های میکرواسکیل که به عنوان تکنیک‌های سازه‌ای شناخته می‌شوند، بنا گشتند تا در سراسر منطقه به منظور حفظ شرایط هیدرولوژیکی آن پخش گردند و این بر خلاف دیدگاه‌های رایج و سنتی است که معمولاً رواناب را به حوضچه‌های بزرگ که در مناطق زهکشی قرار گرفته‌اند انتقال می‌دهد. مهمترین اهداف کنترل رواناب در روش توسعه کم اثر شامل حداقل رساندن اختلال در شبکه زهکشی، حفظ و به‌وجود آوردن مناظر طبیعی، کاهش پوشش‌های نفوذناپذیر، افزایش ذخیره آب، تسهیل زهکشی و ایجاد فرصت برای نفوذ می‌باشد. از جمله مزایای این روش می‌توان به موثر بودن، اقتصادی بودن، انعطاف پذیری، افزودن ارزش به مناظر، دستیابی به اهداف چندمنظوره و پیروی از یک رویکرد سیستماتیک اشاره نمود. از جمله روش‌های توسعه کم اثر می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

روسازی‌های نفوذپذیر: روکش‌های نفوذپذیر را می‌توان به جای انواع سطوح نفوذناپذیر شهری به‌ویژه برای روکش پیاده‌روها و پارکینگ‌ها به‌کار برد. روکش‌های نفوذپذیر اجازه می‌دهند تا رواناب از طریق آنها زهکشی شود و به مخزن سنگی و لایه‌های زیرین خاک نفوذ یابد و یا موقت نگهداشته شود.

بام سبز: یک سیستم سقف گیاهی بسیار سبک همراه با مواد ضد آب، قابلیت زهکشی و رشد گیاهی متوسط با گیاهان مخصوص به خود است. مزایای این روش کاهش هزینه، تهویه مطبوع، طول عمر بالاتر، کاهش رواناب سطحی و قابلیت عرضه در بازار است. باغچه‌های نگهداشت آب باران: با استفاده از باغچه‌های نگهداشت آب باران به جای باغچه‌های معمولی می‌توان از طریق نفوذ دادن بهتر آب به درون خاک و تصفیه همزمان آن منجر به کاهش اوج و حجم رواناب شد. این باغچه‌ها به عنوان مخازنی جهت جمع‌آوری، فیلتر و نفوذ آلودگی رواناب، نشست و فیلتر شدن آلاینده‌ها می‌باشند (Madden et al., 2009).

¹ Prince George's County, Maryland

فیلترهای نواری: پوشش‌هایی معمولاً از جنس گیاه هستند که رواناب سطحی قبل از ورود به کانال اصلی از آنها عبور کرده و سپس وارد کانال می‌شود. مزایای استفاده از این فیلترها کاهش خطر سیلاب، کاهش آلودگی آب، زیباسازی منطقه و کنترل فرسایش می‌باشد (Madden et al. 2009).

جوی باغچه‌ها: کانال‌های باریک کم عمقی هستند که برای جلوگیری از فرسایش، تسهیل نفوذ آب به درون خاک علف کاری شده و حذف رسوب و مواد معلق استفاده می‌شوند. جوی باغچه‌ها نفوذ رواناب در خاک را افزایش داده و در نتیجه موجب کاهش بخش قابل ملاحظه‌ای از آلودگی‌های رواناب نیز می‌گردند (Madden et al. 2009).

ترانشه نفوذ: برای زهکشی رواناب خروجی از اماکن و محوطه‌هایی چون پارکینگ‌ها به عنوان جایگزین جوی بتنی یا در جوار جوی‌ها توصیه می‌شوند، ترانشه نفوذ، یک ترانشه طویل و کم عرض است که درون آن با ذرات درشت دانه و قطعات سنگ پر می‌شود و معمولاً مجرای خروجی ندارد. آب ورودی به این سیستم در فضای خالی مابین ذرات درشت دانه موقت ذخیره می‌شود و به تدریج از کف و دیوارها به درون خاک اطراف ترانشه نفوذ می‌کند (Madden et al. 2009).

تالاب مصنوعی: از سرعت رواناب کاسته و زمان لازم برای رسوب‌گذاری، نفوذ آب و جذب بیولوژیک آلاینده‌ها را فراهم می‌کند. این تالاب‌ها برای دریافت و تصفیه رواناب شهری یا رواناب‌های آمیخته به فاضلاب خام شهر گزینه بسیار مناسبی به شمار می‌روند و در واقع یکی از انواع تاسیسات پیشنهادی برای بهبود شرایط زیست محیطی و کاهش خطرات استفاده از رواناب‌های آلوده در اراضی مزروعی جنوب کلان شهرها هستند (Mohammadi et al., 2022).

سیستم‌های ماند بیولوژیک: راهکاری برای کنترل کیفیت و کمیت آب است که از ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی گیاهان، میکروب‌ها و خاک جهت حذف آلاینده‌ها از رواناب سیلاب استفاده می‌کند. تجهیزات ماند زیستی گودرفتگی‌های سطحی کم عمقی هستند که شامل لایه سطحی زیستی، لایه خاک ماسه‌ای و لایه نگهداشت هستند (Mohammadi et al., 2022).

بشکه‌های بارانی: یکی از روش‌های کم هزینه و موثر توسعه کم اثر هستند که به آسانی قابلیت اجرا و نگهداری دارند. این روش برای مکان‌های مسکونی و تجاری قابلیت کاربری دارند. کاربرد اصلی بشکه‌های بارانی در هنگام بارش باران است که رواناب ناشی از باران را از پشت بام‌ها جمع‌آوری نموده و در زمان مورد نیاز به عنوان مثال جهت آبیاری باغچه‌ها دوباره از این آب استفاده خواهد شد (Mohammadi et al., 2022). جهت تعیین بهترین روش توسعه کم اثر برای مدیریت رواناب شهری می‌توان از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱ استفاده کرد. AHP یک روش جامع و قدرتمند برای تصمیم‌گیری دقیق با استفاده از اطلاعات تجربی و یا قضاوت‌های شخصی هر تصمیم‌گیرنده است. تحلیل سلسله مراتبی با فراهم آوردن یک ساختار برای سازماندهی و ارزیابی اهمیت معیارهای متفاوت و ارجحیت گزینه‌ها برای تصمیم‌گیرندگان، فرایند تصمیم‌گیری را آسان می‌کند (Ghodsipour, 2004). مطالعات مشابهی در زمینه انتخاب روش‌های توسعه کم اثر انجام شده است که در ذیل به چند مورد اشاره می‌شود:

(Izanloo & Bardi Sheikh, 2018) سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در بجنورد را با روش‌های وزن‌دهی ارزیابی کردند. شش گزینه (سیستم نگهداشت زیستی، ترانشه نفوذ، آسفالت نفوذپذیر، پیاده‌رو نفوذپذیر، بام سبز و مخازن باران) بر اساس معیارهای هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد ترانشه نفوذ (با تأکید بر معیار اجتماعی)، مخازن باران (با معیار اقتصادی) و بام سبز (با معیار هیدرولوژیکی) اولویت دارند. (Nazari et al., 2021) اثربخشی روش‌های توسعه کم‌اثر مانند بام سبز، مخازن باران و معابر نفوذپذیر را در تهران بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش ۷۲ درصد حجم رواناب بود. Rostami et al.,

¹ Analytical Hierarchy Process

(2021) با روش AHP نشان دادند که در حوضه‌های ارغوان و کلانار، شکل حوضه بیشترین تأثیر و شیب کمترین نقش را در سیل‌خیزی دارد. با توجه به وضعیت جغرافیایی شهر خمینی‌شهر و محصور بودن آن، این شهر از لحاظ توسعه شهری با کمبود زمین مواجه گردیده است و جمعیت زیاد، این شهر را دومین شهر پرتراکم در کشور نموده است. از این لحاظ اکثر مناطق شهر سطح نفوذ ناپذیری برای رواناب‌های حاصل از نزولات جوی دارند و در هنگام بارندگی‌ها به ویژه در چند سال اخیر این رواناب‌ها باعث سیلاب و تخریب در سطح شهر شده‌اند. در این تحقیق به ارائه بهترین روش توسعه کم اثر (LID) جهت مدیریت رواناب شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در شهر خمینی‌شهر پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

شهر خمینی‌شهر با مساحت ۱۷۵ کیلومترمربع و جمعیت ۳۱۹۷۲۷ نفر در پنج کیلومتری شمال‌غربی کلان شهر اصفهان واقع شده است. این شهر از شمال به شهرستان برخوار و میمه، از شرق و شمال شرقی به شهرستان اصفهان، از شمال‌غربی و غرب به شهرستان نجف آباد و از جنوب و جنوب‌غربی به شهرستان فلاورجان و رودخانه زاینده‌رود محدود می‌شود. نواحی شمال و شمال‌غربی آن کوه‌های محمودآباد با ارتفاع ۲۴۷۳ متر و سرچاه با ارتفاع ۲۲۵۰ متر و کوه صالح با ارتفاع ۲۵۱۱ متر فراگرفته و نواحی جنوبی و شرقی آن را دشت همواری پوشانده است (Riahi Samani et al., 2014).

در شمال شهرستان ارتفاعات سید محمد و پلارت با ارتفاع ۲۴۵۰ متر (محمودآباد)، زیبایی خاصی به منطقه بخشیده است. پارک ملی و پناهگاه حیات وحش قمیشلو در منطقه گذار آهو واقع در این شهرستان، یکی از جاذبه‌ها و ذخایر زیست محیطی این شهر به شمار می‌آید. ارتفاع شهرستان از سطح دریا، حدود ۱۵۹۵ تا ۱۶۰۲ متر است و بنابراین در حدود ۱۸ متر از شهر اصفهان مرتفع‌تر است. موقعیت جغرافیایی شهرستان خمینی شهر "۳۱°۴۵' طول شرقی و "۴۱°۰۰' عرض شمالی است. این شهرستان دارای آب و هوای نیمه‌خشک و با زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد و حداکثر دمای مطلق در تیرماه ۴۰ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای مطلق در دی ماه ۲۰- درجه سانتی‌گراد و میانگین آن بین ۱۰ الی ۱۶ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. با نزدیک شدن به طرف جنوب شهر و به دلیل نزدیکی به رودخانه زاینده‌رود، دمای هوا متعادل‌تر می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه شهرستان بین ۱۱۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر است. بیشترین میزان بارندگی در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهد. در این ناحیه شاخه‌های از زاینده‌رود به صورت مادی و کانال‌های آبرسانی مورد استفاده قرار گرفته است. به علاوه تاکنون هفت رشته قنات، ۱۳۰ حلقه چاه عمیق و ۶۰ حلقه چاه نیمه‌عمیق، در خمینی‌شهر حفر شده است. در حال حاضر، از نظر بافت شهری این شهر به دو قسمت بافت قدیمی و بافت جدید تقسیم می‌شود. بافت جدید در حال گسترش است و شهرک اقماری منظریه و منازل مسکن مهر نیز از نوع همین بافت محسوب می‌شوند. بافت قدیمی خمینی‌شهر از جنوب این شهر، تا بافت جدید شهری ادامه دارد. در این بافت ساختمان‌های نسبتاً قدیمی و بعضی از ساختمان‌های جدید مشاهده می‌شود. این بافت از سه محله ورنوسفاداران، خوزان، فروشان تشکیل شده است. این شهر از نظر تراکم جمعیت دومین رتبه را در کشور داراست و پس از شهر تهران قرار می‌گیرد (Riahi Samani et al., 2014).

۲-۲- معرفی عوامل تاثیرگذار بر انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر

برای شناسایی عوامل موثر بر انتخاب روش توسعه کم اثر، تحقیقات نسبتاً جامعی، مشتمل بر مطالعه متون علمی نگاشته شده در این زمینه و نظرسنجی از سی مدیر شهری خبره صورت گرفت. در این بررسی سعی شد متون اصلی و مرجع در زمینه روش‌های توسعه کم اثر مدنظر قرار گرفته و عوامل موثر آنها استخراج گردد. پس از انجام تحقیقات، در نهایت ۱۴ فاکتور پس از تلفیق و جمع بندی به عنوان عوامل تاثیرگذار شناسایی شدند.

۲-۲-۱- اقلیم

اقلیم به شدت در انتخاب روش‌های توسعه کم اثر^۱ (LID) برای هر پروژه اثرگذار می‌باشد. روش‌های LID اغلب در مناطق با اقلیم‌های معتدل و مرطوب استفاده می‌شود و معمولاً دانش محدودی در رابطه با عملکرد آن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. تالاب مصنوعی، جوی باغچه‌ها و سیستم ماند بیولوژیکی، کاربرد محدودی در اقلیم‌های خشک با فصول طولانی دارند. گیاهان بهتر است متناسب با اقلیم و رژیم هیدرولوژی منطقه باشند چرا که برای مثال در اقلیم‌های گرم، دوره رشد گیاهان بیشتر می‌باشد و همچنین میکروب‌های همزی، رشد مواد مغذی به‌وسیله گیاهان را افزایش می‌دهند (Podolsky, 2012). نرخ نفوذ در اقلیم‌های سرد به دلیل یخ‌زدگی در خاک می‌تواند کاهش محسوسی داشته باشد.

۲-۲-۲- شیب

شیب عبارت از زاویه ای است که سطح زمین با یک سطح افقی فرضی می‌سازد و یا در واقع نسبت اختلاف ارتفاع بین دو نقطه در طبیعت به فاصله افقی بین آن دو را شیب گویند. شیب حوضه آبریز در واکنش هیدرولوژیکی حوضه بسیار مؤثر است. به عبارت دیگر با دانستن شیب حوضه اطلاعات مفیدی در زمینه حرکت آب، قدرت و میزان فرسایش، نحوه حمل رسوب، میزان نفوذ، شدت سیلاب‌ها و حجم رواناب به‌دست می‌آید. به عنوان مثال سرعت جریان‌های سطحی بطور مستقیم به شیب بستگی دارد. افزایش سرعت آب باعث افزایش نیروی جنبشی آن و در نتیجه افزایش قدرت تخریب و حمل آن می‌شود. همچنین میزان نفوذ آب در خاک با میزان شیب کاهش می‌یابد و در نهایت حجم سیلاب و جریان‌های سطحی مستقیماً به شیب حوضه بستگی دارد (Caraco & Claytor, 1997).

۲-۲-۳- گروه هیدرولوژی خاک

طبق آزمایش‌های شرکت آب منطقه‌ای در خصوص میزان نفوذ پذیری آب در خاک در محدوده مطالعاتی و با اطلاعات به‌دست آمده از آنها میزان سرعت نفوذ بین ۳۲ تا ۰/۰۰۰۲۴ متفاوت است. با توجه به جدول تعیین گروه هیدرولوژی خاک‌ها این منطقه در گروه خاک C با تولید رواناب نسبتاً زیاد قرار می‌گیرد. زیست‌ماندها و روسازی نفوذپذیر که زهکش زیرزمینی ندارند برای گروه هیدرولوژی C مناسب نمی‌باشند. با توجه به اینکه حوضه مطالعاتی در مناطقی نیز در گروه D قرار دارد می‌توان گفت که ترانشه نفوذ نیز علاوه بر زیست‌ماندها و روسازی نفوذپذیر مناسب نیستند. در خاک‌های ماسه‌ای، سیستم‌های نفوذ به عنوان تکنیک مدیریت رواناب در مناطق خشک مناسب می‌باشند و می‌توانند به آب‌های زیرزمینی اضافه گردند و چرخه‌های آب و نگهداری آن را بهینه کنند (Caraco & Claytor, 1997). بنابراین مخازن باران و بام سبز از این نظر بیشترین امتیاز را کسب کردند.

¹ Low-Impact Development

۲-۴- سطح آب زیرزمینی

با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در شهر خمینی شهر از ۸۰ متر در شمال شهر تا ۲۰ متر در جنوب شهر متفاوت است و با توجه به حساسیت روش های توسعه کم اثر به آب های زیرزمینی تا حد فاصل نهایتاً ۲ متر، این پارامتر تاثیر چندانی در انتخاب روش مناسب در منطقه مطالعاتی ندارد.

۲-۵- کاهش حجم

با توجه به میزان بارش سالانه در شهر خمینی شهر، کاهش حجم تاثیر قابل توجهی ندارد، اما طراحی بارش در آن باید مورد بررسی قرار گیرد. زیست ماند ها با اهداف نفوذ، روسازی نفوذپذیر و حوضه های نفوذ روش های برتر برای این معیار هستند. بام سبز و زیست ماند ها با هدف تصفیه، تاثیر پایینی در این زمینه دارند.

۲-۶- کاهش جریان پیک

در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل هیدروگراف تیزی که دارند، این گزینه اهمیت بالاتری پیدا خواهد کرد. روش هایی مثل زیست ماند ها، روسازی نفوذپذیر، بام سبز و تالاب مصنوعی تاثیر زیادی دارند. جوی باغچه ها، فیلتر نواری و تکنیک های ذخیره، استفاده مجدد و ترانشه های نفوذ تاثیر کمی در این مورد دارند.

۲-۷- تغذیه آب زیرزمینی

در اقلیم های خشک و نیمه خشک، پوشش های نفوذناپذیر و سیستم های انتقال مهندسی از میزان بارش ورودی به سفره های آب زیرزمینی می کاهد. تکنیک های سبزی که میزان سطوح نفوذناپذیر را کاهش می دهند و نفوذ پذیری را چند برابر می کنند، موجب افزایش جریان به آب های زیرزمینی نیز می گردند. مقدار آب زیرزمینی در خمینی شهر رو به کاهش بوده و تراز آن در اکثر مناطق کم گردیده است. با افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش نیاز به محصولات کشاورزی و منابع آبی برای مصارف شرب و صنعتی، روند کاهشی ادامه دارد. بنابراین باید اقداماتی در زمینه افزایش سطح آب زیرزمینی در خمینی شهر انجام شود. استفاده از تکنیک های LID می تواند اقدام مناسبی در این زمینه باشد. روش زیست ماند ها و روسازی نفوذپذیر بهترین روش موثر و بام سبز و تالاب مصنوعی پایین ترین اثر را دارند.

۲-۸- نگهداری آب (تغذیه و استفاده مجدد)

با توجه به مشکلات و کمبود آب در منطقه خمینی شهر، استفاده از تکنیک هایی که موجب حفظ آب باران گردد تا حد قابل توجهی مفید می باشد. زیست ماند ها، روسازی نفوذپذیر، ذخیره و استفاده مجدد، فیلتر نواری، جوی باغچه های گیاهکاری شده و ترانشه نفوذ همگی با طراحی مناسب، قابلیت نگهداری آب را دارا هستند. بام سبز و تالاب های مصنوعی توانایی چندانی در این زمینه ندارند. یکی از موارد تاثیرگذار در این قسمت قیمت آب است که پیش بینی می گردد با واقعی سازی قیمت آب، نیاز هر چه بیشتر به نگهداری آب و استفاده مجدد آن، ضروری گردد.

۲-۲-۹- کاهش دما

با توجه به گرمای هوا در محدوده مطالعاتی، این معیار می‌تواند تاثیرگذار باشد، هر چند با توجه با اینکه اکثر بارش‌های این منطقه در فصل سرد اتفاق می‌افتد تا حدودی این تاثیر کاهش می‌یابد. زیست‌ماندها، بام سبز، فیلتر نواری و جوی باغچه گیاهکاری شده می‌توانند در این زمینه مفید باشند و سایر روش‌ها تاثیر چندانی ندارند (Uda et al., 2013).

۲-۲-۱۰- کاهش آلودگی هوا

با توجه به اینکه خمینی شهر نزدیک به کلان شهر اصفهان است و در سال‌های اخیر شاخص آلودگی هوا در این شهر به ۱۵۴ رسیده است، حتی در بعضی مواقع از شهر اصفهان هم سبقت گرفته است نیازمند اقداماتی برای جلوگیری از آلودگی هوا می‌باشد. روش‌های زیست‌ماند، بام سبز و جوی باغچه گیاهکاری شده در این زمینه تاثیرگذار هستند (Uda et al., 2013).

۲-۲-۱۱- نگهداری

از میان روش‌های معرفی شده روسازی نفوذپذیر و بام سبز نیاز به نگهداری بالایی دارند، در حالیکه زیست‌ماند، سیستم‌های نگهداری و استفاده مجدد، جوی باغچه گیاهکاری شده، ترانشه نفوذ احتیاج کمتری به نگهداری دارند. سایر موارد امتیاز تقریباً متوسطی دارند که البته با توجه به اقلیم و شرایط طراحی میزان نگهداری و بازرسی از آنها می‌تواند متفاوت باشد و باید به استانداردهای موجود در این زمینه مراجعه شود.

۲-۲-۱۲- کاربری زمین

کاربری زمین یکی از پارامترهای مهم در اجرای مناسب روش‌ها می‌باشد. جوی باغچه‌ها و روسازی نفوذپذیر در مناطق حساس شهری و مناطق بازسازی شده محدود می‌گردند و استفاده از زیست‌ماندها و فیلترهای نواری گیاهی در مناطق حساس شهری و صنعتی توصیه نمی‌گردد. بام سبز در اکثر مناطق مسکونی و آموزشی و ترانشه نفوذ در مناطق صنعتی و جاده‌ها مفید نیستند. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی در مرکز شهر می‌باشد استفاده از زیست‌ماندها، فیلترنواری، جوی باغچه‌ها و روسازی نفوذپذیر با محدودیت‌هایی همراه می‌گردند. بام سبز با توجه به اینکه اکثر بافت حوضه مسکونی است، از این نظر کارایی متوسطی دارد.

۲-۲-۱۳- موانع اجتماعی

با توجه به اینکه روش‌های LID در ایران کم سابقه هستند. ایجاد فرهنگ‌سازی مناسب در این زمینه ضروری است. لذا کلیه پارامترها به دلیل عدم اجرای قبلی و سابقه تاریخی دارای امتیاز یکسانی هستند.

۲-۲-۱۴- هزینه

هزینه ساخت و اجرای هر یک از روش‌ها با توجه به بودجه موجود یکی دیگر از عوامل دخیل در پارامترهای تصمیم‌گیری می‌باشد. هر یک از نه روش معرفی شده طبق تحقیقات (Uda et al., 2013) در دانشگاه تورنتو هزینه اجرای آن بر مترمربع محاسبه گردیده است. هر یک از روش‌ها طبق هزینه تمام شده امتیازدهی شده‌اند، از آنجا که کمترین هزینه در اجرا بالاترین اولویت را دارد جوی باغچه‌ای با کمترین هزینه بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است (Uda et al., 2013).

۲-۱۵- فضای موجود

خمینی شهر بعد از تهران دومین شهر پرتراکم است. از لحاظ زمین دارای کمبود می باشد و قیمت زمین در این شهر بالا است. لذا باید برای اجرای تکنیک موثر این پارامتر را در نظر گرفت، در روش هایی چون مخازن آب باران و بام سبز با توجه به عدم استفاده از زمین های شهری، فضای کمتری استفاده می گردد و بقیه روش ها امتیاز یکسانی دارند.

۳- روش کار

۳-۱- معرفی روش سلسله مراتبی

روش AHP بر اساس تحلیل مغز انسان جهت حل مسائل پیچیده و فازی استفاده می شود. اولین بار توسط محقق بنام «توماس ال ساعتی» در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد گردید (Ghodsipour, 2004). فرایند تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه ی مسائل مشکل و پیچیده آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آنها می پردازد. این روش کاربردهای فراوانی در مسائل اقتصادی و اجتماعی پیدا کرده است و در سال های اخیر در امور مدیریتی نیز به کار رفته است. برای حل یک مسئله یا تصمیم گام های ذیل باید برداشته شود:

- مشخص نمودن هدف، معیارها و گزینه ها
 - تعیین ارتباط اجزا و تشکیل ساختار سلسله مراتبی
 - محاسبه وزن هر یک از معیارها در ارتباط با هدف و وزن گزینه ها در ارتباط با معیارها (وزن نسبی)
 - محاسبه وزن نهایی هر یک از گزینه ها در ارتباط با هدف به کمک ضرب زنجیره وزن ها از گزینه تا هدف
 - رتبه بندی معیارها و گزینه ها در ارتباط با هدف
- فرایند سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسئله پیچیده ی واقعی است که در راس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه ها قرار دارند. سلسله مراتب این تحقیق در شکل (۱) نشان داده شده است.
- محاسبه وزن در فرایند تحلیل سلسله مراتبی در دو قسمت جداگانه وزن نسبی و وزن نهایی مورد بحث قرار می گیرد. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی بدست می آید در حالیکه وزن مطلق رتبه ی نهایی هر گزینه است که از تلفیق وزن های نسبی محاسبه می گردد. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می گردد سپس با استفاده از این ماتریس وزن نسبی عناصر محاسبه می گردد. بطور کلی، یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می شود که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام به عنصر j ام است که با توجه به مقدار a_{ij} ها وزن عناصر یعنی w_i ها بدست می آید. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالتی که این ماتریس سازگار باشد محاسبه وزن (w_i) ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می آید. در این تحقیق برای تعیین اهمیت نسبی از آیین نامه های روش توسعه کم اثر که توسط ارتش امریکا تنظیم گردیده است استفاده شد تا ماتریس مقایسات زوجی به دست آید. بدین منظور از پرسشنامه های که توسط متخصصین در این زمینه تکمیل شده است، استفاده گردید. نتایج حاصل از جمع بندی پرسشنامه ها (۳۳ پرسشنامه) و آیین نامه های تکمیلی به منظور شناسایی انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر توسط سی مدیر خبره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و طبق جدول (۱) ارجحیت عددی به گزینه ها داده شد و ماتریس مقایسات زوجی تهیه گردید. از نرم افزار Expert Choice جهت تصمیم گیری چند معیاره بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. این نرم افزار اولین بار توسط توماس ال ساعتی یکی از بنیان گذاران Expert Choice در دانشگاه پنسیلوانیا مطرح شد (Nikmardan, 2017).

شکل ۱- ساختار سلسله مراتب

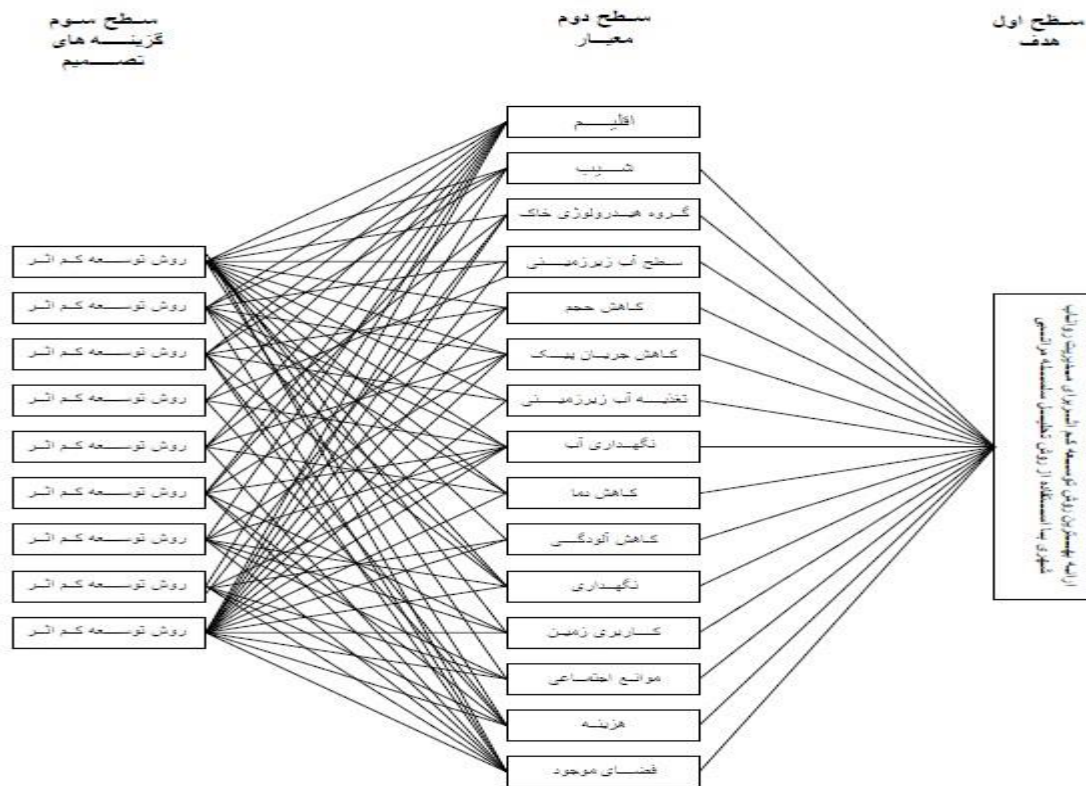


Fig 1. Hierarchical structure

جدول ۱- ارجحیت فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Ghodsipour, 2004)

Table 1. Priority of the analytic hierarchy process (AHP)

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح، یا کاملاً مهمتر یا کاملاً مطلوبتر
۷	ترجیح با اهمیت و مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت و مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح، یا کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر
۱	ترجیح با اهمیت و مطلوبیت یکسان
۲ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی زوجی معیارهای مختلف

با مقایسه‌های زوجی بین عناصر تصمیم امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، مشخص گردید. برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های I_i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های Z_i ام استفاده می‌شود که در جداول (۱ تا ۱۴ پیوست مقاله) نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.

۴-۲- مقایسه زوجی معیارها

در ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم، اولویت اول به معیار اقلیم، الویت دوم با توجه به شرایط اقتصادی منطقه به معیار هزینه و اولویت سوم به فضای موجود با توجه به تراکم بالای منطقه تعلق گرفت. سایر اولویت‌ها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها

Table 2. Pairwise comparison matrix for criteria

معیار	اقلیم	هزینه	فضای موجود	موانع اجتماعی	کاربری زمین	نگهداری	کاهش آلودگی	کاهش دما	نگهداری آب	تغذیه آب	کاهش جریان زیرزمینی	کاهش جریان بزرگ	کاهش حجم	هیدرولوژی	گروه	پیش	پس
اقلیم	۱	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	۱	۳	۹	۷	۲	۵	۴	۴	۴	۶	۶	۶	۲	۲
هزینه	$\frac{1}{6}$	۱	$\frac{1}{5}$	۲	$\frac{1}{2}$	۳	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۱
فضای موجود	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	۱	۳	$\frac{1}{2}$	۴	۲	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۲	۲	۲	۲	۲
موانع اجتماعی	۱	۲	۳	۱	۵	۴	۳	$\frac{1}{2}$	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
کاربری زمین	۳	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۵	۱	۳	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
نگهداری	۹	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	۴	۶	۵	۴	۱	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳
کاهش آلودگی	۷	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	۳	۴	۳	۳	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
کاهش دما	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
نگهداری آب	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	$\frac{1}{2}$	۳	۱	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
تغذیه آب	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۵	۴	۳	$\frac{1}{2}$	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
کاهش جریان بزرگ	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۴	۳	۳	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
کاهش جریان زیرزمینی	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۵	۳	۲	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
کاهش حجم	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۶	۵	۴	۱	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳
هیدرولوژی	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۶	۵	۴	۱	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳
گروه	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۴	۶	۵	۴	۱	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳
پیش	۲	۱	۲	۲	۲	۳	۳	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
پس	۲	۱	۲	۲	۲	۳	۳	$\frac{1}{2}$	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲

۳-۴- نتایج تصمیم‌گیری چند معیاره به کمک نرم‌افزار Expert Choice

در این مرحله پس از ساخت مدل در برنامه Expert Choice، مقایسه زوجی و محاسبه وزن‌های نسبی گزینه‌ها و معیارها، وزن نهایی هر گزینه محاسبه گردید. بدین منظور از عمل تلفیق در نرم‌افزار Expert Choice استفاده گردید. وزن نهایی بدین ترتیب به دست می‌آید که ابتدا برای هر معیار، وزن گزینه‌ها بر وزن بزرگترین آنها تقسیم می‌گردد سپس عدد حاصل در وزن معیار مربوط ضرب می‌شود. با جمع مقادیر حاصل برای هر یک از گزینه‌ها، مقدار عددی به هر گزینه تخصیص می‌یابد. بعد از محاسبه وزن هر یک از گزینه‌ها نسبت به کلیه معیارها، وزن معیارها مشخص می‌شود به عبارت دیگر سهم هر یک از معیارها در تعیین بهترین گزینه مشخص گردید که مهمترین معیار اقلیم با وزن نسبی ۱۹/۹ درصد و بهترین گزینه بام سبز با وزن نسبی ۱۴/۵ درصد بود. جزئیات محاسبات در اشکال (۲ و ۳) آمده است. طبق نتایج نرم‌افزار و ورود ماتریس‌های مقایسات زوجی، وزن معیارها بدست آمد و اولویت‌بندی شاخص‌ها به کمک نرم‌افزار تعیین شد. طبق نتایج نرم‌افزار تکنیک بام سبز در حوضه شمالی و شمال شهر با توجه به وجود بیشترین ساخت و ساز و سطح اشغال بهترین گزینه معرفی شد. ترانشه نفوذ در کلیه سطوح خمینی شهر باید در دستور کار قرار گیرد و تالاب مصنوعی در حوضه جنوب شهر به علت وجود باغ‌ها و اراضی کشاورزی بهترین گزینه است. از آنجا که روش بام سبز بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داد بهتر است مدیران شهری در محدوده مورد مطالعه از این روش نهایت استفاده را نمایند از آنجا که جایگاه ساخت بام سبز بر روی بام‌های مسکونی و اداری می‌باشد باید در این خصوص فرهنگ‌سازی زیادی نمود تا شهروندان این روش را بر روی بام‌ای خود اجرا نمایند. اجرای این روش علاوه بر کاهش حجم رواناب باعث کاهش آلودگی و ایجاد زیباسازی فضای شهری می‌گردد. بام‌های سبز به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در مدیریت آب و کاهش اثرات منفی رواناب شهر خمینی شهر می‌تواند مطرح گردد. این بام‌ها علاوه بر ایجاد فضاهای سبز، به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌کنند. بام‌های سبز می‌توانند تا ۸۰ درصد از آب باران را جذب و نگهداری کنند و بنابراین به کاهش حجم و سرعت رواناب کمک می‌کنند. همچنین با تصفیه طبیعی آب باران، بام‌های سبز می‌توانند به کاهش آلودگی‌های ناشی از رواناب کمک کنند. با اجرای بام سبز، این بام‌ها می‌توانند به کاهش دما در محیط شهری کمک کنند و اثر جزیره گرمایی را کاهش دهند همچنین به زیبایی و جذابیت ساختمان‌ها و محیط شهری، حفظ تنوع زیستی به عنوان زیستگاه‌هایی برای پرندگان و حشرات مفید و کاهش هزینه‌های انرژی کمک کنند. استفاده از بام سبز در شهر خمینی شهر مشکلات و چالش‌هایی هم به دنبال خواهد داشت. نصب و راه‌اندازی بام‌های سبز معمولاً هزینه‌های بالایی دارد که می‌تواند برای برخی از مالکین ساختمان‌ها مشکل‌ساز باشد. بام‌های سبز نیاز به نگهداری منظم شامل آبیاری، هرس و کنترل آفات دارند که می‌تواند هزینه‌بر باشد. بام‌های سبز به دلیل وجود خاک و گیاهان، وزن بیشتری به ساختمان‌ها اضافه می‌کنند که ممکن است نیاز به تقویت سازه داشته باشد. برخی از ساختمان‌ها ممکن است به دلیل طراحی یا ساختار خود نتوانند بام‌های سبز را به راحتی پیاده‌سازی کنند. در صورتی که سیستم‌های زهکشی به درستی طراحی نشوند، ممکن است آب جمع شود و باعث آسیب به ساختمان شود. مطالعه (Izanloo & Bardi Sheikh, 2018) به ارزیابی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی در بجنورد با استفاده از روش‌های وزن‌دهی پرداخت. پژوهشگران شش گزینه مدیریتی شامل نگهداشت زیستی، ترانشه نفوذ، آسفالت نفوذپذیر، پیاده‌رو نفوذپذیر، بام سبز و مخازن جمع‌آوری آب باران را بر اساس سه معیار هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که ترانشه نفوذ با تأکید بر معیار اجتماعی، مخازن آب باران با در نظر گرفتن معیار اقتصادی و بام سبز با تمرکز بر معیار هیدرولوژیکی به عنوان گزینه‌های برتر شناسایی شدند. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر که به بررسی راهکارهای مدیریت رواناب در خمینی شهر می‌پردازد، همسویی قابل توجهی دارد و مؤید کارایی این روش‌ها در شرایط مشابه است.

(Nazari et al., 2021) به بررسی و مدل سازی روش های توسعه کم اثر در ناحیه ۱ منطقه ۱۱ تهران پرداختند. نتایج نشان داد که روش های بام سبز، مخازن باران، معابر نفوذپذیر و جوی باغچه ها می تواند تا ۷۲ درصد حجم رواناب را کاهش دهد. نتایج تحقیق ذکر شده با تحقیق جاری همراستا می باشد. در مطالعات خارج از کشور نیز (Liu et al., 2022) به مطالعه ای تحت عنوان شناسایی مناطق بالقوه و اولویت دار در مقیاس شهر برای مقاوم سازی بام های سبز و ارزیابی اثربخشی کاهش رواناب آنها در پهنه های کاربردی شهری پرداختند نتایج نشان داد که میانگین کاهش رواناب حدود ۷۰ درصد قابل حصول می باشد. ایجاد بام سبز علاوه بر کاهش رواناب می تواند بر کیفیت هوا و کاهش دما و همچنین مصرف انرژی نیز اثرگذار باشد. در تحقیق (Fleck et al., 2022) به مطالعه ای تحت عنوان بام های سبز شهری برای مدیریت ریزاقلیم های پشت بام (مطالعه موردی سیدنی استرالیا) پرداختند و بیان داشتند که به طور متوسط بام های سبز شهری باعث ایجاد ۸ درجه سانتی گراد کاهش دما می شوند. بر مبنای تحقیقات ذکر شده بام سبز در شهر خمینی شهر می تواند علاوه بر کاهش رواناب، کاهش دما نیز به دنبال داشته باشد. (Ebadi & Ahyaei, 2011) مطالعه ای تحت عنوان آنالیز حرارتی مدل ساختمان مجهز به سقف سبز و مدیریت بهینه سازی انرژی انجام دادند. نتایج شبیه سازی ها نشان داد که با به کارگیری سقف سبز مصرف سالیانه انرژی الکتریکی در شهرهای تهران، تبریز و بندر عباس کاهش خواهد داشت. با توجه به مقادیر بدست آمده استفاده از سقف سبز در مناطق گرمسیر (بندر عباس) نسبت به مناطق سردسیر (تبریز) کارایی بیشتری دارد. همچنین آزمون های حساسیت سنجی نشان داده است که مصرف انرژی ساختمان به تغییرات پارامترهای ضخامت خاک و تراکم گیاهی ساختار سقف سبز وابسته است به طوری که هرچه ضخامت خاک مورد استفاده بیشتر باشد عایق حرارتی بهتری است و هرچه قدر تراکم گیاهی بکار رفته بالاتر باشد قدرت بیشتری در ممانعت از تابش اشعه های خورشیدی دارد. (Mohammadi et al., 2015) ارزش اقتصادی کاهش آلاینده های هوا توسط سقف های سبز در شهر تهران را برآورد کردند. ارزش اقتصادی جذب آلاینده های هوا به کل شهر با در نظر گرفتن ساختمان های مسکونی و برای کل عمر سقف سبز (۵۰ سال) تعمیم داده شد. طبق نتایج تحقیق ارزش عملکرد تصفیه ی آلاینده های هوای مورد بررسی در طی ۵۰ سال و در حالتی که تمام سقف های ساختمان های مسکونی شهر تهران سبز شوند، ۱۱۳۷۳ میلیارد ریال برآورد شد. بر مبنای تحقیقات ذکر شده بام سبز توانایی کاهش مصرف الکتریسیته و صرفه جویی مالی هم خواهد داشت. با توجه به همه موارد اشاره شده در مجموع تکنیک بام سبز در شهر خمینی شهر با توجه به دلایل ذیل به عنوان بهترین روش انتخاب گردید:

با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه بام سبز باعث کاهش دما و ایجاد فضای سبز زیاد می گردد.

از آنجا که شهر خمینی شهر دارای تراکم بالا می باشد و کمبود زمین برای اجرای روش های LID وجود دارد پس بهترین مکان برای اجرا زمین های دارای ساخت و ساز است.

با توجه به مشکلات اقتصادی شهرداری ها جهت اجرای این روش، می توان شهروندان را بصورت مشارکتی تشویق به اجرا نمود.

با توجه به کمبود فضای سبز در اقلیم های گرم و خشک به دلیل کمبود آب، می توان از این روش جهت ایجاد فضای سبز استفاده نمود.

با توجه به ایجاد مشکلات ترافیکی و آلودگی وسایل نقلیه جهت رفتن به پارک ها و فضای سبز برای اوقات فراغت، می توان با ایجاد بام سبز از تردد زیاد وسایل نقلیه جلوگیری کرد.

شکل ۲- تعیین ارجحیت نسبی معیارها

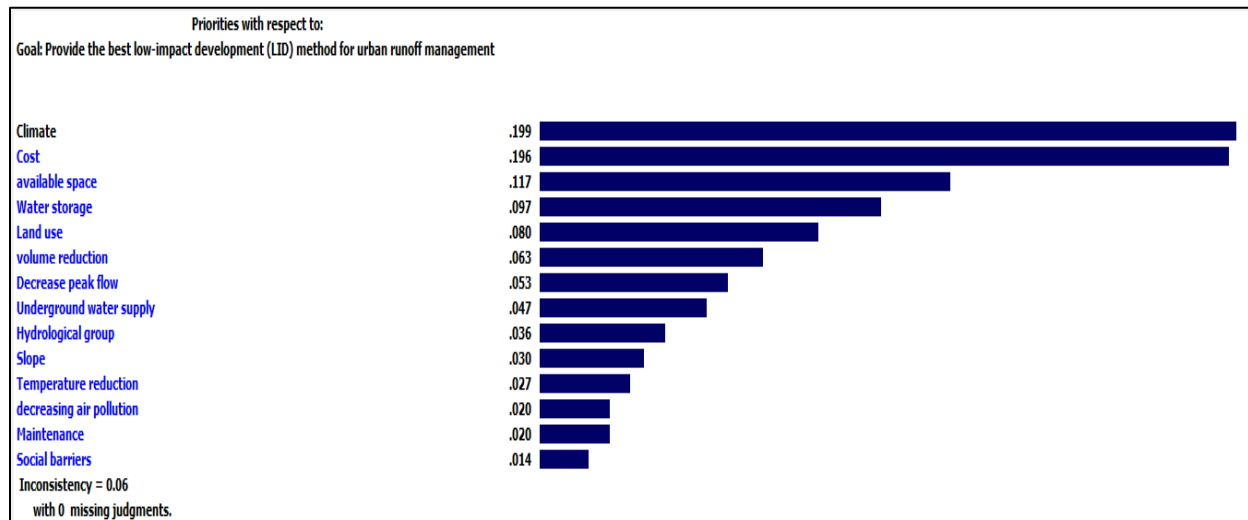


Fig 2. Determining relative priority of criteria

شکل ۳- وزن گزینه‌ها

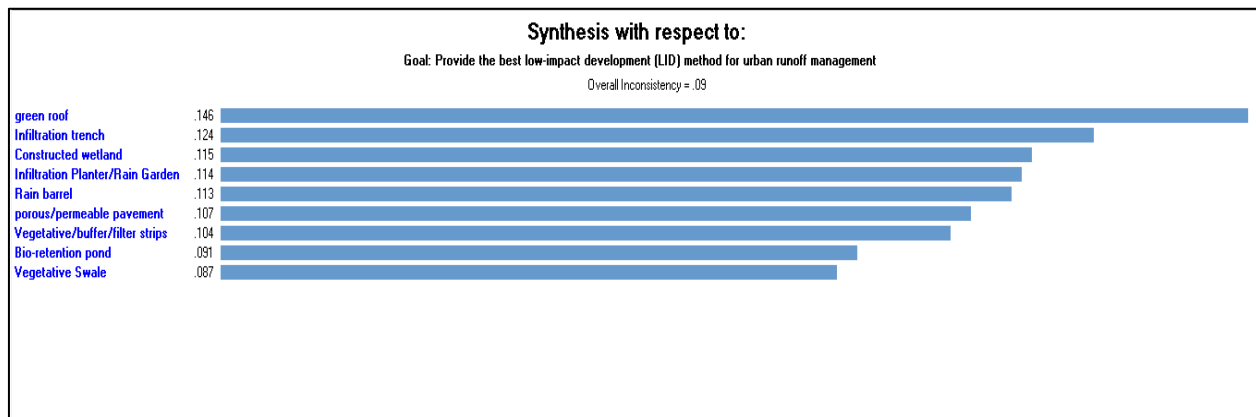


Fig 3. Option weights

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارائه بهترین روش توسعه کم اثر برای مدیریت رواناب شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در شهر خمینی‌شهر پرداخته شد. در سال‌های اخیر روش‌های توسعه کم اثر به عنوان روش‌هایی شناخته شده، بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راه حل‌ها را در مدیریت و کاهش اثرات منفی سیلاب شهری ارائه نموده‌اند. هر چند که ظهور ابزارهای توسعه کم اثر در مدیریت آب‌های سطحی و حفظ کیفیت آن بسیار موثر است، ولی جانمایی، اجرا و بهره‌برداری بهینه این روش‌ها به شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقتصادی و ... منطقه بستگی دارد. در این مقاله از روش AHP در انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر در مدیریت رواناب شهری خمینی‌شهر استفاده شد. در این راستا معیارها و گزینه‌های موجود در انتخاب بهترین روش توسعه کم اثر توسط سی کارشناس خبره، تعیین شد و پس از انجام مقایسه‌های زوجی بین معیارها و گزینه‌ها، بر اساس نظرات ارائه شده، نتایج حاصل از مقایسه‌ها به ساختار تحلیل سلسله مراتبی تبدیل شد. نتایج حاصل از این تحقیق با مدلسازی در نرم افزار Expert Choice نشان داد به ترتیب روش بام سبز و ترانشه نفوذ در شهر خمینی‌شهر بهترین گزینه‌ها در دفع، کنترل و استفاده از رواناب‌ها هستند. طبق نتایج نرم افزار روش بام

سبز در حوضه شمالی و شمال شهر با توجه به وجود بیشترین ساخت و ساز و سطح اشغال بهترین گزینه معرفی شد. ترانشه نفوذ در تمام شهر خمینی شهر باید در دستور کار قرار گیرد و تالاب مصنوعی در حوضه جنوب شهر به علت وجود باغ‌ها و اراضی کشاورزی بهترین گزینه است. بام سبز علاوه بر کنترل سیلاب در شهر خمینی شهر به عنوان روشی جهت کاهش دما، کاهش مصرف الکتریسیته و صرفه‌جویی در هزینه‌ها مطرح می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

کامل رضایی آدریانی: نگارش، روش‌شناسی، تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها، نرم‌افزار، تحلیل داده‌ها. مجید ریاحی سامانی: نظارت، نگارش، ویرایش، روش‌شناسی و اعتبارسنجی. مسلم غیبی حاجیور: نظارت، روش‌شناسی، نرم‌افزار و تحلیل داده‌ها.

منابع

- Caraco, D., & Claytor, R. A. (1997). *Stormwater BMP Design: Supplement for Cold Climates*. Ellicott City, MD, USA: US Environmental Protection Agency.
- Ebadi, M., & Ahyaee, M. (2011). Thermal analysis of green roof building models and energy optimization management. *Journal of Mechanical Engineering, Energy Conversion*, 2(3), 1-12. (In Persian)
- Fleck, R., Gill, R. L., Saadeh, S., Pettit, T., Wooster, E., Torpy, F., & Irga, P. (2022). Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia. *Building and Environment*, 209, 108673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108673>
- Ghodsipour, S. H. (2004). *Analytic hierarchy process (AHP)*. Amirkabir University of Technology Press. (In Persian)
- Izanloo, R., & Bardi Sheikh, V. (2018). Prioritizing urban runoff management scenarios using TOPSIS method under different weighting approaches (Case study: Neyshabur urban watershed). *Journal of Water and Wastewater*, 29(1), 15-26. (In Persian)
- Jia, H., Yao, H., & Yu, S. L. (2013). Advances in LID BMPs research and practice for urban runoff control in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 7, 709-720. <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0557-5>
- Liu, W., Qian, Y., Yao, L., Feng, Q., Engel, B. A., Chen, W., & Yu, T. (2022). Identifying city-scale potential and priority areas for retrofitting green roofs and assessing their runoff reduction effectiveness in urban functional zones. *Journal of Cleaner Production*, 332, 130064. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130064>
- Madden, A., Kelley, S., & Harris, L. (2009). *Low impact development approaches handbook*. Clean Water Services.
- Mohammadi, A., Mirkarimi, H., & Mohammadzadeh, M. (2015). Estimating the economic value of air pollutant reduction by green roofs: Case study of Tehran. *Proceedings of the 3rd National Conference on Environmental and Agricultural Research of Iran*, Gorgan, Iran. (In Persian)
- Mohammadi, M., Hesami Kermani, M. R., & Akbari, R. (2022). A review of surface runoff control methods. *Proceedings of the 18th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment*. (In Persian)
- Nazari, A., Rouzbahani, A., & Hashemi Shahdani, S. M. (2021). Urban runoff management with an optimization approach to low impact development methods and integration of SWMM and SUSTAIN models. *Journal of Water and Wastewater*, 32(4), 126-151. (In Persian)

Nikmardan, A. (2017). *Introduction to Expert Choice software*. Jahad Daneshgahi (Amirkabir University of Technology). (In Persian)

Podolsky, L. (2012). Barriers to low impact development. *Local Government Commission for the Southern California Stormwater Monitoring Coalition, Sacramento, CA*.

Putnam, A. L. (1972). *Effect of urban development on floods in the Piedmont Province of North Carolina* (No. 72-304). US Geological Survey.

Riahi Samani, M., Bagheri, S., & Kabiri Samani, A. (2014). Evaluation of urban runoff management system (Case study: Khomeinishahr County). *Proceedings of the First National Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Environment*, Hamadan, Iran. (In Persian)

Rostami, F., Tavakoli, M., Rostami, N., & Ebrahimi, H. (2021). Evaluation of flood potential in watersheds using analytical hierarchy process (Case study: Ilam city watershed). *Comprehensive Watershed Management*, 1(1), 1-16. <https://doi.org/10.22034/iwm.2021.247934>. (In Persian)

Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4), 263-275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>

Uda, M., Van Seters, T., Graham, C., & Rocha, L. (2013). Evaluation of life cycle costs for low impact development stormwater management practices. *Sustainable Technologies Evaluation Program, Toronto and Region Conservation Authority*.

پیوست: جداول ۱ تا ۱۴ ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مختلف

جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار اقلیم

اقلیم	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۵	۳	۱	۱	۳	۱	۱	$\frac{1}{5}$
بام سبز	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{9}$
باغچه ها یا مخازن نکه داشت	$\frac{1}{3}$	۳	۱	۳	۳	۱	۳	۳	۷
نوار فیلتری گیاهکاری	۱	۵	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۵
جوی باغچه ها	۱	۵	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۵
ترانشه نفوذ	$\frac{1}{3}$	۳	۱	۳	۳	۱	۳	۳	۵
تالاب مصنوعی	۱	۵	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۵
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	۵	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۵
بشکه های بارانی	۵	۹	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار شیب

شیب	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
بام سبز	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
باغچه ها یا مخازن	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
نوار فیلتری گیاهکاری	۳	۳	۳	۱	۳	۱	۳	۳	۳
جوی باغچه ها	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
ترانشه نفوذ	۳	۳	۳	۱	۳	۱	۳	۳	۳
تالاب مصنوعی	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱
بشکه های بارانی	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۱

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار گروه هیدرولوژی

گروه هیدرولوژی	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۳	۳	$\frac{1}{3}$	۳	۳	۳	۱	$\frac{1}{7}$
بام سبز	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
باغچه ها یا مخازن نگه داشت	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۳	۵	۵	۱	۵	۵	۵	۳	$\frac{1}{5}$
جوی باغچه ها	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
ترانشه نفوذ	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
تالاب مصنوعی	$\frac{1}{3}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	۳	۳	$\frac{1}{3}$	۳	۳	۳	۱	$\frac{1}{7}$
بشکه های بارانی	۷	۹	۹	۵	۹	۹	۹	۷	۱

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار کاهش حجم

کاهش حجم	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$
بام سبز	۷	۱	۲	۳	۲	۷	۷	۷	۵
باغچه ها یا مخازن نگه داشت	۶	$\frac{1}{2}$	۱	۲	۱	۶	۶	۶	۴
نوار فیلتری گیاهکاری	۳	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{3}$	۵	۵	۵	۳
جوی باغچه ها	۶	$\frac{1}{2}$	۱	۳	۱	۶	۶	۶	۴
ترانشه نفوذ	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$
تالاب مصنوعی	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{3}$
بشکه های بارانی	۳	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	۳	۳	۳	۱

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار کاهش جریان پیک

کاهش جریان پیک	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	۱	۱	$\frac{1}{8}$
بام سبز	۱	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	۱	۱	$\frac{1}{8}$
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۷	۷	۱	۱	۱	۱	۶	۶	$\frac{1}{2}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۷	۷	۱	۱	۱	۱	۶	۶	$\frac{1}{2}$
جوی باغچه ها	۷	۷	۱	۱	۱	۱	۶	۶	$\frac{1}{2}$
ترانشه نفوذ	۷	۷	۱	۱	۱	۱	۶	۶	$\frac{1}{2}$
تالاب مصنوعی	۱	۱	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	$\frac{1}{7}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	۱	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	۱	۱	$\frac{1}{7}$
بشکه های بارانی	۸	۸	۲	۲	۲	۲	۷	۷	۱

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار تغذیه آب زیرزمینی

تغذیه آب زیرزمینی	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$	۱	۱	$\frac{1}{4}$
بام سبز	۷	۱	۵	۲	۱	۳	۷	۷	۱
باغچه ها یا مخازن	۳	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	۳	۳	$\frac{1}{5}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۶	$\frac{1}{2}$	۴	۱	$\frac{1}{2}$	۲	۶	۶	$\frac{1}{2}$
جوی باغچه ها	۷	۱	۵	۲	۱	۳	۷	۷	۱
ترانشه نفوذ	۴	$\frac{1}{3}$	۳	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۴	۴	$\frac{1}{3}$
تالاب مصنوعی	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$	۱	۱	$\frac{1}{7}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$	۱	۱	$\frac{1}{7}$
بشکه های بارانی	۴	۱	۵	۲	۱	۳	۷	۷	۱

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار نگهداری آب

نگهداری آب	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	$\frac{1}{7}$	۱	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۳
بام سبز	۷	۱	۶	۶	۶	۶	۲	۶	۹
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۱	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۳
نوار فیلتری گیاهکاری	۱	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۳
جوی باغچه ها	۱	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۳
ترانشه نفوذ	۱	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۳
تالاب مصنوعی	۵	$\frac{1}{2}$	۵	۵	۵	۱	۱	۵	۷
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	$\frac{1}{6}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۲
بشکه های بارانی	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{2}$	۳	۱

جدول ۸- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار کاهش دما

کاهش دما	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۵	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۱
بام سبز	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۱	۵	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۱
نوار فیلتری گیاهکاری	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
جوی باغچه ها	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
ترانشه نفوذ	۱	۵	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۱
تالاب مصنوعی	۱	۵	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۱
سیستم های ماند بیولوژیک	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
بشکه های بارانی	۱	۵	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۱

جدول ۹- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار کاهش آلودگی هوا

کاهش آلودگی هوا	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱
بام سبز	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱
نوار فیلتری گیاهکاری	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱
جوی باغچه ها	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
ترانشه نفوذ	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱
تالاب مصنوعی	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱
سیستم های ماند بیولوژیک	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
بشکه های بارانی	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱

جدول ۱۰- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار فضای موجود

فضای موجود	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
بام سبز	$\frac{1}{9}$	۱	۱	۱	۹	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	۱
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
نوار فیلتری گیاهکاری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
جوی باغچه ها	۱	$\frac{1}{9}$	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
ترانشه نفوذ	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
تالاب مصنوعی	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
سیستم های ماند بیولوژیک	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹
بشکه های بارانی	$\frac{1}{9}$	۱	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	۱

جدول ۱۱- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار نگهداری

نگهداری	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$
بام سبز	۱	۱	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$
باغچه ها یا مخازن نگه داشت	۷	۷	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۷	۷	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
جوی باغچه ها	۵	۵	۳	۳	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱
ترانشه نفوذ	۵	۵	۳	۳	۱	۱	$\frac{1}{3}$	۱	۱
تالاب مصنوعی	۷	۷	۱	۱	۳	۳	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۵	۵	۳	۳	۱	۱	۳	۱	۱
بشکه های بارانی	۵	۵	۳	۳	۱	۱	۳	۱	۱

جدول ۱۲- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار موانع اجتماعی

موانع اجتماعی	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$
بام سبز	۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$
باغچه ها یا مخازن	۳	۳	۱	۱	$\frac{1}{5}$	۱	۱	۱	$\frac{1}{8}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۳	۳	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۸
جوی باغچه ها	۲	۲	۵	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$
ترانشه نفوذ	۳	۳	۱	۱	۵	۱	۱	۱	$\frac{1}{8}$
تالاب مصنوعی	۳	۳	۱	۱	۵	۱	۱	۱	$\frac{1}{8}$
سیستم های ماند بیولوژیک	۳	۳	۱	۱	۵	۱	۱	۱	$\frac{1}{8}$
بشکه های بارانی	۵	۵	۸	$\frac{1}{8}$	۳	۸	۸	۸	۱

جدول ۱۳- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار کاربری زمین

کاربری زمین	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	۲	۱	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$
بام سبز	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۳
باغچه ها یا مخازن نگه داشت زیستی	۱	۲	۱	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$
نوار فیلتری گیاهکاری	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۶
جوی باغچه ها	۱	۲	۱	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$
ترانشه نفوذ	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۶
تالاب مصنوعی	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۶
سیستم های ماند بیولوژیک	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۶
بشکه های بارانی	۵	$\frac{1}{3}$	۵	$\frac{1}{6}$	۵	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	۱

جدول ۱۴- ماتریس مقایسه زوجی برای معیار هزینه

هزینه	روکش نفوذ ناپذیر	بام سبز	باغچه ها یا مخازن	نوار فیلتری گیاهکاری	جوی باغچه ها	ترانشه نفوذ	تالاب مصنوعی	سیستم های ماند بیولوژیک	بشکه های بارانی
روکش نفوذ ناپذیر	۱	$\frac{1}{3}$	۲	۳	۴	۲	۲	۲	۲
بام سبز	۳	۱	۳	۴	۵	۳	۳	۳	۳
باغچه ها یا مخازن نگه داشت	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱
نوار فیلتری گیاهکاری	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	۱	۲	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
جوی باغچه ها	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
ترانشه نفوذ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱
تالاب مصنوعی	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱
سیستم های ماند بیولوژیک	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱
بشکه های بارانی	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱