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

Optimizing rainwater extraction methods using the improved ant system-based clustering algorithm (Case study: Markazi province)

Mostafa Yousefirad[*1], **Farbod Setoudeh**[2]

1. Associate Professor, Geology Department Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran, Email: m.yousefirad@arakut.ac.ir
2. Assistant Professor, Electrical Engineering Department, Faculty of Electrical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran, Email: f.setoudeh@arakut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 01 October 2023
Revised: 10 January 2024
Accepted: 14 January 2024
Published online: 3 September 2024

Keywords:
Cost function, prioritization, rainwater collection, water catchment surfaces

ABSTRACT

The existence of quantitative and qualitative limitations of water resources on the one hand and the occurrence of damages and losses caused by surface runoff and seasonal floods on the other hand have necessitated the use of water resources extracted from appropriate seasonal rains. The present study was conducted to choose the best methods of collecting and rainwater harvesting in the cities of Markazi Province. For this purpose, at first, a questionnaire was prepared to identify the main evaluation criteria of the existing methods and it was provided to managers, experts, and specialists familiar with the field of management and rainwater collection methods. Then the weather information was identified in each region of the province. Finally, all available methods were reviewed and classified into three main groups. Finally, based on the method of the meta-invention algorithm of the ants, optimization of suitable places and applicable methods was carried out at the province level. Based on the findings of this study, there are 4 main groups of appropriate criteria for evaluating rainwater collection methods. Also, the most important factors in choosing the right place and method of rainwater collection include the amount of rainfall, maximum rainfall in 24 hours, and rainy days with 10 mm of rainfall. According to the 4 criteria, some regions of the province including Ashtian, Shazand, Tafarsh, and Arak cities have more priority for the implementation of this project than other cities. Finally, the meta-heuristic evaluation of rainwater collection methods shows that the best method in terms of the 4 criteria and on the other hand the weather conditions of Markazi Province, the methods of using the roof surface of residential, commercial, greenhouse, and other sites as well as It is the use of methods to improve water catchment surfaces that can have the highest water efficiency with the lowest cost.

Citation: Yousefirad, M., & Setoudeh, F. (2024). Optimizing rainwater extraction methods using the improved ant system-based clustering algorithm (Case study: Markazi province), 12(2), 1-18.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3

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

***Corresponding author:** Mostafa Yousefirad
Address: Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.
Tel: +989183638957-+988633400788
Email: m.yousefirad@arakut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

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

Optimizing rainwater extraction methods using the improved ant system-based clustering algorithm (Case study: Markazi province)

Mostafa Yousefirad*[1], Farbod Setoudeh[2]

1. Associate Professor, Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran, Email: m.yousefirad@arakut.ac.ir
2. Assistant Professor, Faculty of electrical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran, Email: f.setoudeh@arakut.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The systems of rain catchment surfaces play an effective role in storing precipitation. However, creating it in some areas requires special credit and expertise and in some cases, there are areas where runoff is easily stored in natural or artificial catchment levels. Its optimal use requires the implementation of some technical instructions. In terms of special weather conditions and geographical distribution of its settlements, Markazi province needs to use rainwater collection methods. The existence of quantitative and qualitative limitations of the province's water resources on the one hand, and the occurrence of damages and losses caused by surface runoff and seasonal hub floods, on the other hand, have made the use of water resources extracted from suitable seasonal rains unavoidable. The present plan has been implemented to identify susceptible urban and rural areas in the provinces of the province and then evaluate the methods used to choose the optimal method for collecting rainwater and considering economic, social, technical, and environmental aspects.

Methodology: To carry out this study, after conducting preliminary studies and becoming familiar with the current basics available in specialized texts, a specialized questionnaire was prepared and available to identify the main and suitable criteria for optimizing the existing methods and to identify and evaluate the appropriate criteria for selecting methods. Managers, experts, and specialists familiar with the field of rainwater management and rainwater collection methods were placed. Then, the weather information of the province, especially criteria such as the amount of rainfall, the maximum rainfall in 24 hr, and the number of days with rainfall of more than 10 mm in each region of the province were identified. Finally, all the methods available in the world were reviewed and classified into three main groups. Finally, based on the algorithm of the ant colony system, optimization of suitable places and applicable methods was done at the province level.

Results and Discussion: Based on the climate characteristics of different cities of the Markazi province and the four assessment criteria of rainwater collection methods, the priority of each city in the province can be determined for the implementation of one of the catchment levels. The result of this study is shown in Tables 1 and 2.

Table 1- Spatial prioritization of the cities of the province to implement the rainwater collection system based on the month

Esfand	Bahman	Dey	Azar	Aban	Mehr	Month
Shazand	Arak	Shazand	Shazand	Shazand	Ashtian	Priority
Shahrivar	Mordad	Tir	Khordad	Ordibehesht	Farvardin	Month
Ashtian	Ashtain	Ashtain	Tafresh	Ashtain	Tafresh	Priority

Table 2- Spatial prioritization of the cities of the province to implement the rainwater collection system based on the season

Summer	Spring	Winther	Autumn	Season
Shazand	Tafresh	Shazand	Shazand	Priority

***Corresponding author:** Mostafa Yousefirad
Address: Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.
Tel: +989183638957-+988633400788
Email: m.yousefirad@arakut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

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

Conclusion: This research can be briefly concluded as follows:

- There are four main groups of appropriate criteria for evaluating rainwater collection methods.
- The most important factors in choosing the right place and method of rainwater collection include the amount of rainfall, maximum rainfall in 24 hr, and rainy days with 10 mm of rainfall.
- According to the four criteria, some regions of the province including Ashtian, Shazand, Tafarsh, and Arak cities have more priority for the implementation of this project than other cities.
- The ISAC evaluation of rainwater collection methods shows that the best method in terms of the four criteria and on the other hand the weather conditions of Markazi province, the methods of using the roof surface of residential, commercial, greenhouse, and other sites as well as It is the use of methods to improve water catchment surfaces that can have the highest water efficiency with the lowest cost.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Funding: This study was conducted as a research project and it has received financial support from the Markazi Province Water and Wastewater Company.
Authors' contribution: Mostafa Yousefirad and Farbod Setoudeh respectively contributed 70 and 30 % in the compilation of this article.
Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: The authors of this article appreciate the efforts of Mr. Irfani Nesab, the CEO, Mr. Mamqaninejad, the vice president of development and research, Mr. Jahangiri, an expert in the research department of the Markazi province Water and Sewerage Company, in the various stages of the implementation of this project.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

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

بهینه‌یابی روش‌های استحصال آب باران به روش الگوریتم بهبود یافته کلونی مورچگان (مطالعه موردی: استان مرکزی)

مصطفی یوسفی‌راد [*۱]، **فربود ستوده** [۲]

۱. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران، m.yousefirad@arakut.ac.ir

۲. استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران، f.setoudeh@arakut.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۹ مهر ۱۴۰۲
بازنگری: ۲۰ دی ۱۴۰۲
پذیرش: ۲۴ دی ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۳ شهریور ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
اولویت‌بندی، تابع هزینه، جمع‌آوری آب باران، سطوح آبگیر

چکیده

وجود محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب از یک سو و بروز خسارت‌ها و زیان‌های ناشی از رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های فصلی از سوی دیگر، استفاده از منابع آب استحصالی از بارندگی‌های مناسب فصلی را غیرقابل اجتناب نموده است. بر همین اسا، مطالعه حاضر با هدف انتخاب بهترین روش‌های جمع‌آوری و استحصال آب باران در سطح شهرستان‌های استان مرکزی انجام شده است. بدین‌منظور در ابتدا پرسشنامه‌ای برای شناسایی معیارهای اصلی ارزیابی روش های موجود تهیه شد و در اختیار مدیران، کارشناسان و متخصصان آشنا به حوزه مدیریت و روش‌های جمع‌آوری آب باران قرار گرفت. سپس اطلاعات آب و هوایی در هر منطقه از استان شناسایی شد. سپس، کلیه روش‌های موجود بررسی و در سه گروه اصلی طبقه‌بندی شدند. در نهایت، بر اساس روش الگوریتم فرابتکاری مورچگان نسبت به بهینه‌یابی مکان‌های مناسب و روش‌های قابل اجرا در سطح استان اقدام شد. بر اساس یافته‌های این طرح چهار گروه اصلی معیارهای مناسب جهت ارزیابی روش‌های جمع‌آوری آب باران وجود دارد: معیارهای فنی شامل شش زیرمعیار و ۳۱ شاخص، معیارهای اقتصادی شامل نه شاخص، معیارهای اجتماعی شامل دو شاخص و معیارهای محیط زیستی شامل دو شاخص. هم‌چنین مهم‌ترین عوامل در انتخاب مکان مناسب و روش جمع‌آوری آب باران شامل میزان بارش، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و روزهای بارشی دارای ۱۰ میلی‌متر بارندگی است. با توجه به معیارهای چهارگانه، برخی از مناطق استان من‌جمله شهرستان‌های آشتیان، شازند، تفرش و اراک نسبت به سایر شهرستان‌ها از اولویت بیش‌تری برای اجرای این طرح برخوردار هستند. در نهایت، این‌که ارزیابی فرابتکاری روش‌های جمع‌آوری آب باران نشان می‌دهد بهترین روش از نظر معیارهای چهارگانه و از سوی دیگر شرایط آب و هوایی استان مرکزی، روش‌های استفاده از سطح پشت‌بام مناطق مسکونی، تجاری، گلخانه و سایر مناطق و هم‌چنین استفاده از روش‌های اصلاح سطوح آبگیر است که با کم‌ترین هزینه می‌تواند بیش‌ترین بازده آبی را داشته باشد.

استناد: یوسفی‌راد، مصطفی، و ستوده، فربود. (۱۴۰۳). بهینه‌یابی روش‌های استحصال آب باران به روش الگوریتم بهبود یافته کلونی مورچگان (مطالعه موردی: استان مرکزی). باران *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۲)، ۱-۱۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

[*] **نویسنده مسئول:** مصطفی یوسفی‌راد
نشانی: گروه مهندسی ژئومکانیک، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
تلفن: ۰۹۱۸۳۶۳۸۹۵۷ – ۰۸۶۳۳۴۰۰۷۸۸
پست الکترونیکی: m.yousefirad@arakut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

مقدمه

در مناطق خشک و کم آبی هم‌چون ایران، کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی، پراکنش نامناسب ریزش‌های جوی، رشد جمعیت و افزایش تقاضای منابع آب در بخش‌های مختلف مصرفی و بروز خسارات و زیان‌های ناشی از رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های فصلی الزام استفاده از بارش‌های فصلی و موضعی را ضروری می‌سازد. هر ساله بخشی از ریزش‌های جوی به‌صورت بارش‌های با شدت مدت زیاد باعث هدررفت این‌گونه منابع آب شده و امکان بهره‌برداری از آن‌ها را از دسترس خارج می‌کند. برداشت و جمع‌آوری آب باران روشی ساده و کم هزینه است که به حداقل تخصص یا دانش خاص نیاز دارد و مزایای زیادی را ارائه می‌دهد. استان مرکزی به لحاظ شرایط خاص آب و هوایی و پراکندگی جغرافیایی سکونگاه‌های آن نیاز به استفاده از روش‌های جمع‌آوری آب باران دارد. وجود محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب استان از یک طرف و بروز خسارات و زیان‌های ناشی رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های فصلی از سوی دیگر استفاده از منابع آب استحصالی از باراندگی‌های مناسب فصلی را غیر قابل اجتناب نموده است.

در قرن حاضر تحقیقات به کمک فناوری در بسیاری از نقاط خشک و نیمه خشک جهان برای توسعه روش‌های استحصال آب سطحی شتاب بیش‌تری پیدا کرده است. به‌طور مثال Abdulla & Al-Shareef (2009) پتانسیل ذخیره آب باران را برای مصرف شرب در مناطق مسکونی ۳۵ استان کشور اردن مورد ارزیابی قرار دادند. Hunt & Jones (2009) برای مطالعه عملکرد سیستم جمع‌آوری آب باران از سطح پشت‌بام‌ها در جنوب ایاالت متحده یک مدل کامپیوتری مطالعه‌ای را ارائه دادند. از سوی دیگر Eroksuz & Rahman (2010) در مورد استحصال آب باران و پتانسیل ذخیره آن در مخازن در ساختمان‌های چند واحدی در استرالیا تحقیقاتی را انجام دادند. یافته‌های این بررسی نشان داد که ۹۳ درصد از جامعه هدف از چالش‌های پیش روی بر اساس کمبود امکانات مالی و ۸۲ درصد از دانش ناکافی در رابطه با اصول جمع‌آوری آب باران و استفاده از آن رنج می‌برند. برای طراحی مخازن آب باران در شهر ملبورن استرالیا و تحلیل عملکرد آن‌ها Imteaz et al. (2011) تحقیقاتی انجام دادند و به مدلی جامع در این مورد دست یافتند. آن‌ها برای سه شرایط آب و هوایی، آن‌ها نمودارهای قابلیت اطمینان مخازن ذخیره آب باران را در رابطه با اندازه مخزن، مساحت سقف، و تعداد ساکنان در هر خانه و نیاز آبی که باید توسط آب باران تامین شود، ارائه کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که برای وضعیت یک خانوار دو نفره، قابلیت اطمینان با مساحت سقف ۱۵۰ تا ۳۰۰ مترمربع و اندازه مخزن ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ لیتر در حدود ۱۰۰ درصد بود. در همین زمینه، Palla et al. (2012) برای مطالعه عملکرد بهینه سیستم جمع‌آوری آب باران و ارزیابی جریان ورودی و خروجی و تغییرات حجم ذخیره در سیستم، مدلی مناسب توسعه دادند.

در زمینه انتخاب مکان مناسب جهت استحصال آب باران نیز مطالعات گسترده‌ای انجام شده که می‌توان به تحقیقات پیشین (Elewa et al., 2012؛ Ziadat et al., 2012) اشاره نمود. Ahmed & Akter (2013) به ارزیابی امکان‌پذیری استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران در شهر چیتاگنگ بنگلادش با متوسط بارش سالانه ۳۰۰۰ میلی‌متر پرداختند. این شهر در یک سال مشخص، هم با کمبود آب و هم با سیلاب مواجه می‌شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران می‌تواند سیلاب را تا ۵۲ درصد کاهش دهد و سالانه تا ۵۱ لیتر در روز برای هر نفر به تأمین آب شهری کمک کند. Mahmoud et al. (2014) در زمینه ظرفیت استحصال آب باران در شهر خارطوم سودان و استفاده از آن به‌عنوان ابزاری جهت مدیریت رواناب شهری پرداختند و نتیجه گرفتند که استحصال آب باران می‌تواند به‌عنوان یک منبع جایگزین آب برای مقابله با پدیده خشکسالی مطرح باشد. در مطالعه‌ای توسط Husen et al. (2018) برای شناسایی مناطق مناسب استحصال آب باران در نواحی مرکزی هندوستان، از تلفیق روش‌های AHP، GIS و سنجش از دور به‌صورت هم‌زمان استفاده شد و نتایج نشان داد تلفیق این روش‌ها به‌خوبی توانایی شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران جهت تغذیه مصنوعی را دارد. Parandin et al. (2019) در تحقیقی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش ترکیب خطی وزندار (WLC) به برآورد آب باران قابل استحصال از بام‌های شهر کرمانشاه جهت امکان آبیاری فضای سبز شهری پرداختند. نتایج این مطالعه مشخص نمود که ۵۸/۴ درصد از آب مورد نیاز فضای سبز شهری را می‌توان از این روش تأمین کرد. Armin et al. (2020) نیز با استفاده از تحلیل چند معیاره MCE و مدل هیدرولوژیکی HM به شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. Abkhizi et al. (2020) با استفاده از روش پوششی هاب و به کمک الگوریتم PR و GIS نشان دادند که مناطق شمالی و شمال‌غربی شهرستان بیرجند که دارای بافت شنی- سنگریزه است دارای ظرفیت بالایی برای جمع‌آوری آب باران است. Raskar et al. (2020) نیز در مطالعات خود نشان دادند که از روش‌های جمع‌آوری آب باران می‌توان برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی استفاده نمود. همان‌طور که بیان شده سیلاب‌های فصلی ضمن هدررفت منابع آب می شود، بر روی خصوصیات خاک به‌ویژه موادمغذی آن تاثیر منفی دارد (Zhong et al., 2020; García-Comendador et al., 2022). بر اساس مطالعات پیشین استفاده از سطوح آبگیر در کاهش تاثیرات منفی سیلاب در

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

ایجاد فرسایش، افزایش قابلیت و توانایی نفوذپذیری و ظرفیت تغذیه خاک نقش مهمی را ایفا می‌کند (Alfaia Brempong et al., 2023 et al., 2022;.

در ایران نیز اکبرپور و همکاران (۱۳۹۴) و زراعتکار و همکاران (۱۳۹۴) در دو مطالعه مجزا به‌ترتیب با استفاده از دو سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر GIS و استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی به بررسی مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران در دشت بیرجند پرداخته و نتیجه گرفتند که از غرب به شرق بر استعداد دشت در جمع‌آوری آب باران افزوده می‌شود. سلطانی در ۱۳۹۶ نیز در مطالعه‌ای موردی در حوضه خسرو آباد شهرستان سنقر، تحت عنوان امکان سنجی مناطق مستعد استحصال آب باران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، عوامل تأثیرگذار بر نفوذ و ذخیره آب باران در پروفیل خاک در حوضه آبخیز خسروآباد شهرستان سنقر مشخص نموده و وارد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کرد. وی در نهایت به این نتیجه رسید که علاوه‌بر عامل بارندگی که جزء عوامل اصلی است، دو عامل شیب و خصوصیات خاک از لحاظ گروه‌های هیدرولوژیک خاک به‌عنوان دیگر عوامل اصلی به‌منظور جمع‌آوری آب باران از بقیه عامل‌ها امتیاز و تأثیر بیش‌تری دارند. از جدیدترین مطالعات انجام شده در خصوص مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران می‌توان به مطالعه صادقی و همکاران (۱۴۰۲) اشاره نمود. در این مطالعه با استفاده از دو نوع روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل شبکه‌ای (ANP) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مناطق مستعد در استان اصفهان جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از دو مدل از نظر آماری باهم مقایسه شد. نتیجه این تحقیق نشان داد که در این استان به‌ترتیب حدود ۲۴/۸ و ۲۱/۸ درصد از اراضی در وضعیت خوب و خیلی خوب جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران قرار دارند. حسن‌پور و همکاران (۱۴۰۲) نیز تاثیر سامانه‌های جمع‌آوری آب باران بر افزایش پوشش گیاهی در آذربایجان شرقی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که احداث سطوح آبگیر کوچک بهترین سامانه استحصال آب باران از لحاظ افزایش تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.

مطالعات و سوابق تحقیقاتی اشاره شده در بالا نشان می‌دهد که عامل‌های مؤثر در جمع‌آوری آب باران بسیار گسترده و متنوع است. بنابراین این عوامل می‌بایست در قالب دسته‌های مرتبط طبقه‌بندی و از سوی دیگر بر اساس درجه اهمیت طبقه‌بندی و در انتخاب روش بهینه استحصال آب باران مورد استفاده قرار بگیرند. مطالعه حاضر سعی دارد نواقص و کمبودهای اشاره شده در تحقیقات فوق را تکمیل نماید و سپس با هدف شناسایی مناطق مستعد شهری و روستایی در سطح شهرستان‌های استان، مرکزی ضمن ارزیابی روش‌های مورد استفاده نسبت به انتخاب روش بهینه جهت جمع‌آوری آب باران با لحاظ جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، فنی و محیط زیستی اقدام نماید.

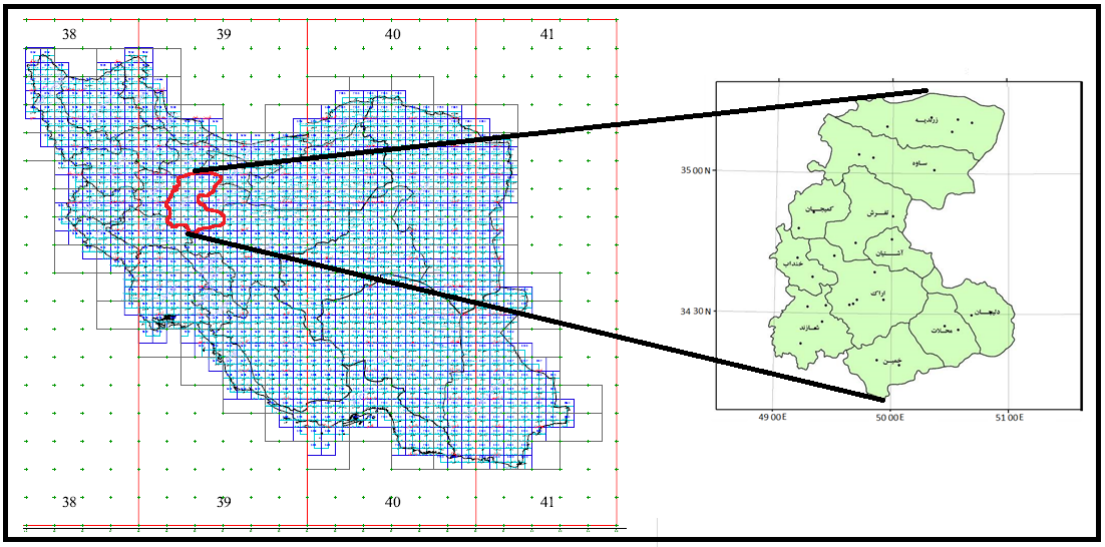
مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

این مطالعه در محدوده شهرستان‌های استان مرکزی به اجرا در آمد. این استان با جمعیتی بالغ بر یک میلیون و چهارصد هزار نفر و مساحتی در حدود ۲۹۰۰۰ کیلومتر مربع در ایران به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعتی کشور محسوب می‌شود. استان مرکزی دارای ۱۲ شهرستان، ۲۶ بخش، ۳۵ شهر، ۶۶ دهستان بوده و موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان مرکزی در ایران

Figure 1- Geographical location of Markazi province in Iran

روش کار

مراحل اجرای این مطالعه به شرح زیر بوده است:

۱- تعیین بارندگی سالیانه

یکی از پارامترهای مهم هواشناسی میانگین طویل المدت بارندگی سالیانه است. با دانستن مقدار این عامل می‌توان تا حدود زیادی به خشک یا مرطوب بودن منطقه پی برد.

بارندگی سالیانه در استان مرکزی دارای تفاوت‌های زمانی و مکانی زیادی است. تفاوت بارش در شهرهای مهم استان در شکل ۲ مشخص شده است. در این مطالعه از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی (۱۳۷۰-۱۳۷۱ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹) کمیت بارش استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه (اداره کل هواشناسی استان مرکزی، ۱۴۰۲)

Table 1- Characteristics of meteorological stations used in this study (General Meteorology Department of Central Province, 2023)

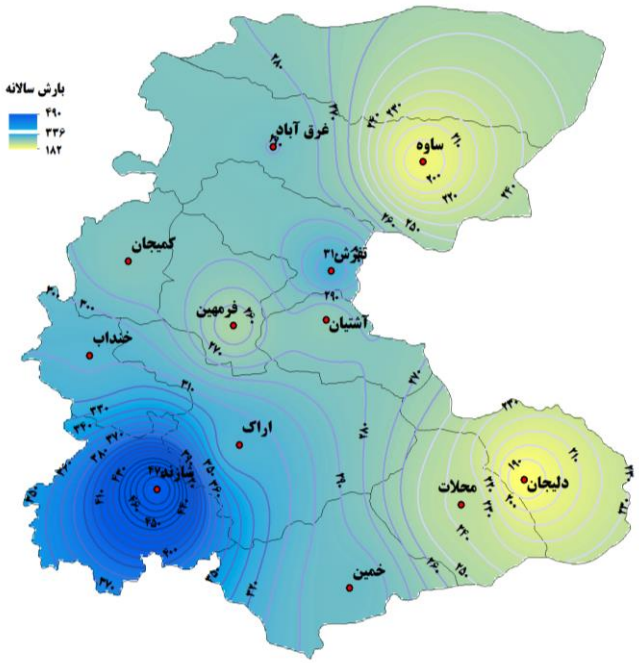
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	طول	عرض	تاسیس
1	اراک	سینوپتیک اصلی	1803	49-42	34-06	1327
2	ساوه	سینوپتیک تکمیلی	1108	50-20	35-06	1370
3	تفرش	سینوپتیک تکمیلی	1980	50-01	34-41	1378
4	خمین	سینوپتیک تکمیلی	1835	50-05	33-37	1379
5	دلیجان	سینوپتیک تکمیلی	1524	50-41	33-59	1381
6	کمیجان	سینوپتیک تکمیلی	1741	49-19	34-43	1381
7	محلات	سینوپتیک تکمیلی	1620	50-29	33-53	1384
8	غرق اباد	سینوپتیک تکمیلی	1590	49-49	35-06	1385
9	خنداب	سینوپتیک تکمیلی	1739	49-11	34-24	1385
10	شازند	سینوپتیک تکمیلی	1913	49-25	33-57	1386
11	آشتیان	سینوپتیک تکمیلی	2097	50-00	34-32	1387

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

12	اراک	باران سنجی	1720	49-42	34-06	1366

با توجه به آمار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه نقشه پهنه‌بندی بارش سالیانه استان در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، تفاوت بارش مناطق جنوب غرب با مناطق شرق و شمال شرقی استان حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. این تغییرات طوری است که از جنوب به شمال و از غرب به شرق از میزان بارندگی سالیانه در استان کاسته می‌شود. بنابر نقشه پهنه‌بندی بارش استان مرکزی، بارش‌ها به‌طور کلی در نواحی غربی و جنوبی استان بیش‌تر از نواحی شمالی و شرقی استان است. بارش‌های سالیانه بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در شهرستان‌های شازند، خنداب و بخش‌هایی از شهرستان‌های تفرش، خمین و اراک مشاهده می‌شود. بارش‌های کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال نیز در بخش‌هایی از شهرستان دلیجان، ساوه و محلات مشاهده می‌شود. گستردگی بارش‌ها در استان مرکزی از حدود ۱۸۰ میلی‌متر تا حدود ۵۰۰ میلی‌متر در سال است. کم‌ترین متوسط بارش‌ها در استان متعلق به ایستگاه‌های دلیجان و ساوه به‌ترتیب با ۱۸۲/۳و ۱۹۲/۸ میلی‌متر در سال و بیش‌ترین بارش در شازند به میزان ۴۹۰/۱ میلی‌متر در سال است.



شکل ۲- پهنه‌بندی استان مرکزی بر اساس بارندگی سالیانه

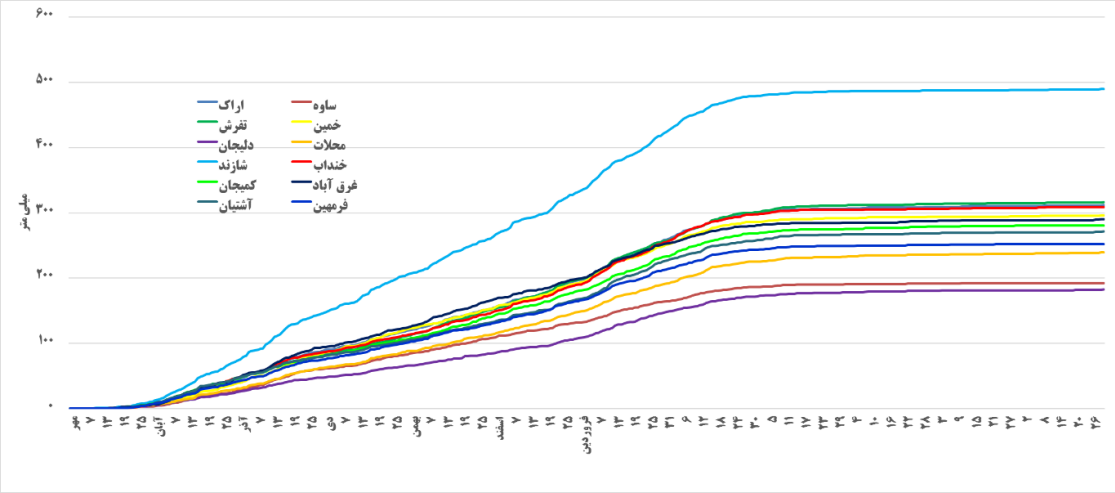
Figure 2- Markazi province zoning based on annual rainfall

۲- تعیین بارندگی ماهیانه

بخش اعظم بارش سالانه در استان مرکزی در ماه‌های سرد سال ریزش می‌کند. به‌طور متوسط مرطوب‌ترین ماه‌های سال هم‌زمان با سردترین آن‌ها و خشک‌ترین ماه‌ها در گرم‌ترین ماه‌های سال در استان اتفاق می‌افتد. در شهر اراک بیش‌ترین بارش در بهمن و اسفند ماه با بارش ماهانه ۵۴/۶ میلی‌متر که معادل ۱۵درصد بارش سالانه اراک است نازل می‌شود و ماه‌های گرم تابستان بدون باران و خشک و بارندگی آن تقریبا ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر در ماه مرداد است. شکل ۳ توزیع بلندمدت بارش ماهانه در طی سال در ایستگاه‌های استان را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

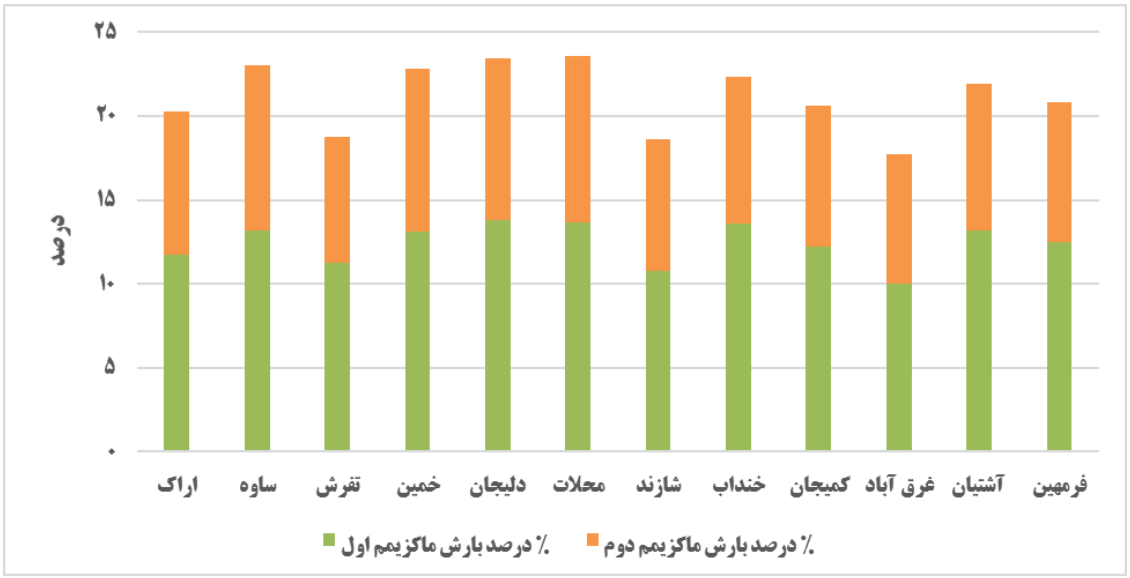


شکل ۳- نمودار تجمعی بارندگی استگاه های استان مرکزی

Figure 3- Cumulative graph of rainfall of Markazi province stations

۳- تعیین حداکثر بارش ۲۴ ساعته

حداکثر بارش ۲۴ ساعته از طریق تحلیل داده‌های بارندگی روزانه برای هر ماه تعیین شده و سپس از طریق مقادیر ماهانه حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه تعیین و پس از آن این کمیت برای دوره اقلیمی تعیین می‌شود. شکل چهار بیان‌گر متوسط درصد اولین و دومین حداکثر بارش ۲۴ ساعته نسبت به سال زراعی در دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تا ۱۳۷۱-۱۳۷۰ است. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است در اغلب ایستگاه‌ها دو حداکثر بارش ۲۴ ساعته سهمی بیش از ۲۰ درصد بارش سال زراعی همان سال را دارند که این خروجی بیان‌گر امکان جمع‌آوری و استحصال این‌گونه بارش‌ها را از روش‌های مختلف فراهم می‌سازد. بنابراین جمع‌آوری این حجم از آب می‌تواند بخشی از نیاز مصرفی به آب را در طول سال فراهم نماید.



شکل ۴- درصد اولین و دومین حداکثر بارش ۲۴ ساعته نسبت به بارش سال زراعی در دوره آماری

Figure 4- The percentage of the first and second maximum 24-hour rainfall compared to the crop year rainfall in the statistical period

۴- تعیین روش‌های جمع‌آوری آب باران

در زمینه طبقه‌بندی روش‌های استحصال آب باران روش‌های متنوعی بر اساس اهداف و کاربرد اجرای روش‌ها وجود دارد. یکی از بهترین روش‌های معرفی شده در این زمینه طبقه‌بندی Bing et al. (2007) است. در این مطالعه با الهام از این روش و بر پایه نظرسنجی‌های انجام

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

شده با خبرگان مخاطب نسبت به طبقه‌بندی روش‌های استحصال آب در سه گروه عمده پشت‌بام، درون شهری و اصلاح خاک اقدام شده است. هریک از این روش‌ها نیز خود دارای زیرتقسیماتی است که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

۵- تعیین معیارهای ارزیابی روش‌های جمع‌آوری آب باران

به‌منظور انتخاب روش بهینه در ابتدا نسبت به تعیین معیارهای لازم جهت ارزیابی روش‌های استحصال آب باران اقدام شد. نتیجه بررسی‌های این مطالعه و بر اساس نظرسنجی و مصاحبه با کارشناسان و متخصصان ذی ربط و سوابق علمی بیان شده در بخش مقدمه این مطالعه، نشان می‌دهد چهار معیار اصلی فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی برای ارزیابی روش‌های استحصال آب مورد نیاز است. این معیارها خود به زیرمعیارهای جداگانه‌ای تقسیم می‌شوند که خلاصه آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲-روش های جمع آوری آب باران

Table 2- rainwater harvesting methods

روش	پشت‌بام	درون شهری	اصلاح خاک
زیر روش	شامل چهار روش	شامل 12 روش	شامل دو روش کلی و 14 زیر روش

بر اساس جدول ۲ به‌طور کلی روش‌های اصلی استحصال آب باران در مناطق شهری و روستای به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

۱- روش پشت‌بام

این گروه خود به چهار روش اختصاصی پشت‌بام (جریان کل)، پشت‌بام (انحراف جریان)، پشت‌بام (باقی‌مانده حاوی دریچه) و پشت‌بام (نفوذی) تقسیم می‌شوند.

۲- روش‌های درون شهری

این روش‌ها عمدتاً در مناطق شهری و حتی در برخی روستاهای دارای شرایط مشابه قابل اجرا هستند که خود شامل استفاده از گودال، حوضچه‌های رواناب، حوضه‌های نفوذ، ترانشه‌های نفوذ، باریکه‌های فیلتری، سیستم نگهدارنده زنده، پیاده‌رو نفوذپذیر، سقف سبز، آسفالت نفوذپذیر، استخر، سطح جاده و گلخانه می‌شوند.

۳- روش‌های اصلاح خاک

در این روش‌ها عمدتا نسبت به کاهش نفوذپذیری خاک اقدام می‌شود که مهم‌ترین این روش‌ها متراکم‌سازی و ایجاد ناهمواری است.

۳-۱- اصلاح با مواد شیمیایی

که خود به روش‌های نمک سدیم‌دار، سیلیکون، پارافین و روغن است.

۳-۲- پوشش‌های نفوذ ناپذیر

این نوع استحصال آب باران نیز شامل استفاده از پوشش‌های آسفالتی، پلاستیک و ژئوممبران، قیر و پلاستیک، لاستیک، فلز و بتن است. زیرمعیارهای معرفی شده در جدول ۳ بر اساس تحقیقات پیشین و به‌عنوان یافته‌های حاصل از ارزیابی متون علمی بیان شده در تاریخچه مطالعات و تائید کارشناسان و متخصصان بر اساس نظرسنجی‌ها به‌دست آمده است. بر اساس این جدول ۴ معیار اصلی فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی برای ارزیابی روش‌های جمع‌آوری آب باران می‌توان در نظر گرفت که هریک دارای زیرمعیارهای جداگانه‌ای هستند.

جدول ۳- معیارهای ارزیابی روش‌های جمع‌آوری آب باران

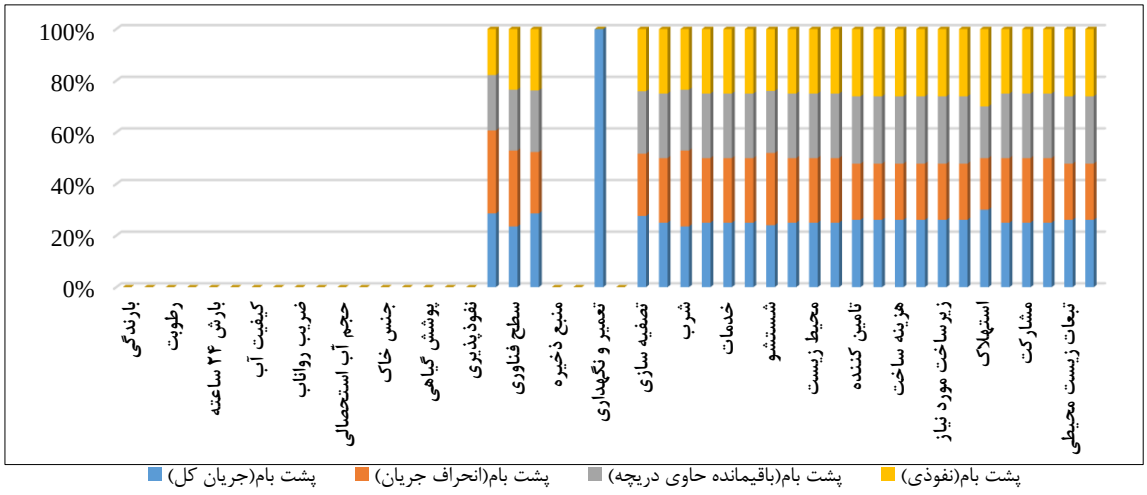
Table 3- Evaluation criteria of rainwater harvesting methods

معیار اصلی	فنی					اقتصادی				
زیر معیار	آب و هوا	هیدرولوژی	زمین‌شناسی	فناوری	محاسباتی	کاربری	بازدهی	مدت اجرا	هزینه ساخت	هزینه جاری	زیرساخت
معیار اصلی	اجتماعی			محیط زیستی						
زیر معیار	وجود معارض		مشارکت مردمی	تبعات محیط زیستی		امکان حفظ محیط زیست				

البته هریک از زیر معیارها خود دارای یک یا چند شاخص هستند که جهت اختصار در جداول ارائه نشده‌اند. در مرحله بعد جهت تعیین وزن اهمیت هر یک از معیارها و شاخص‌های فوق پرسشنامه طراحی و به مدیران، کارشناسان و اعضای هیات علمی مرتبط با اجرای طرح در شرکت‌های آبفا و آب منطقه‌ای استان مرکزی ارسال و نقطه نظر ایشان اخذ شد. نتایج این بخش در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

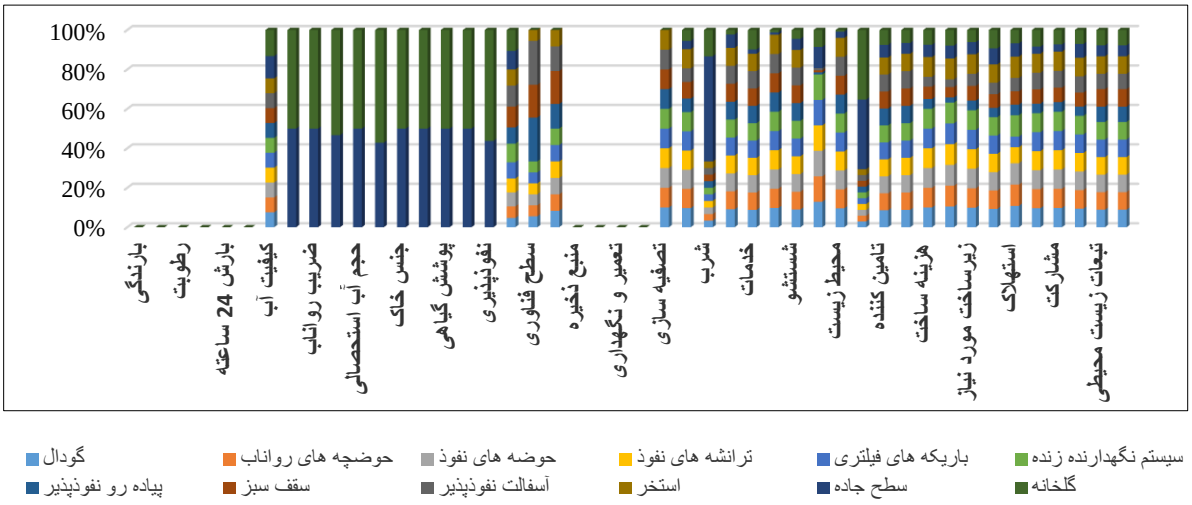
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]



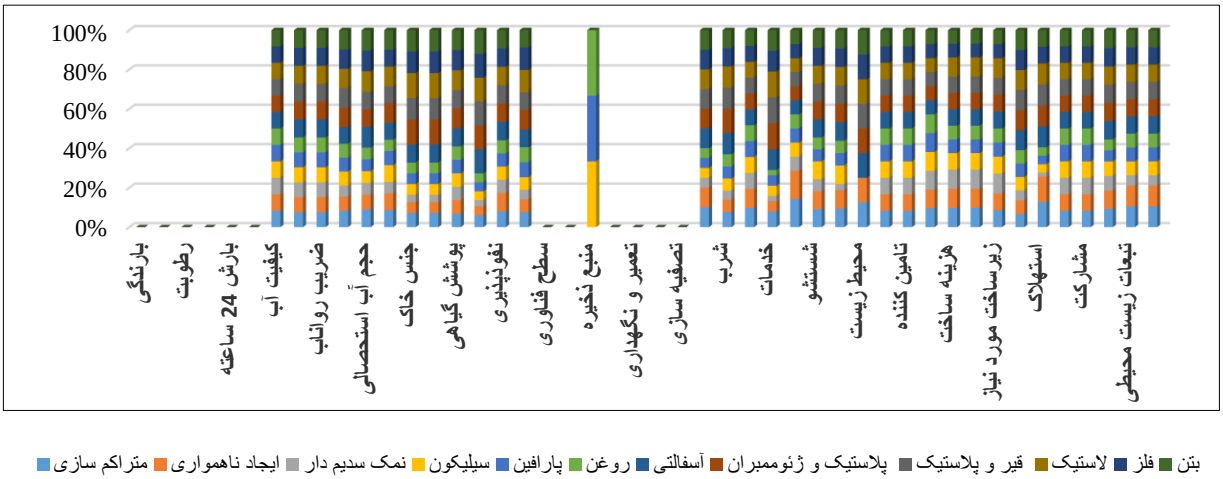
شکل ۵- نتیجه وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی روش‌های پشت‌بام جهت جمع‌آوری آب باران

Figure 5- The result of weighting the evaluation criteria of rooftop methods to rainwater harvesting



شکل ۶- نتیجه وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی روش‌های درون شهری جهت جمع‌آوری آب باران

Figure 6- The result of weighting the evaluation criteria of inner city methods to rainwater harvesting



[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

شکل ۷- نتیجه وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاح سطوح آبگیر جهت جمع‌آوری آب باران
Figure 7 - The result of weighting the evaluation criteria of the methods of improving catchment surfaces to rainwater harvesting

با توجه به شکل‌های ۵ تا ۷ در میان معیارهای معرفی و بررسی شده و با توجه انجام مطالعات میدانی و تهیه پرسشنامه تخصصی و کسب نظر کارشناسان و متخصصان حوزه منابع آب مهم‌ترین عوامل در انتخاب مکان مناسب و روش جمع‌آوری آب باران شرایط آب و هوایی و به‌ویژه عامل‌های میزان بارش، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و روزهای بارشی دارای ۱۰ میلی‌متر بارندگی است.

۶- بهینه‌سازی

فرآیند بهینه‌سازی به‌طور کلی در چهار مرحله فرموله کردن، مدل‌سازی، بهینه‌سازی و استقرار مسئله انجام می‌شود. سیستم کلونی مورچگان برگرفته از رفتار مورچگان برای یافتن غذا است. روش بهبود یافته الگوریتم مورچگان[1] یا IASC روش پیشرفته و کاربردی است که توسط کو و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است. در الگوریتم پیشنهادی IASC متغیرها و پارامترهای زیر مورد توجه است:

$E = \{o_1 \ldots O_n\}$، بیان‌گر مجموعه n داده از بانک داده است که هر داده k ویژگی دارد.

α، اهمیت نسبی میزان تبخیر فرومون (میزان فرومون باقی‌مانده)،

n، تعداد داده‌ها m تعداد مورچه‌ها nc تعداد خوشه‌هاست.

T، مجموعه داده‌های ویزیت شده. حداکثر طول آرایه T،n خواهد بود. T={Oa, Ob, …,Ot} و نقاط t ،b ،a نقاطی هستند که توسط مورچه‌ها ویزیت شده است. این آرایه درالگوریتم، حکم یک فهرست تابو را دارد که مانع از انتخاب نقاط تکراری می‌شود.

T_m، مجموعه T که توسط مورچه mام تشکیل شده است.

$D_{mean}(T_m)$، متوسط فاصله بین همه داده‌های متعلق به مورچه mام با مرکز آن خوشه است.

N_T، تعداد داده‌ها در مجموعه T است.

$O_{center}(T)$، داده‌ای که بیان‌گر مرکز همه داده‌های مجموعه T است و به‌صورت معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$O_{center}(T) = \frac{1}{n}\sum_{O_i \in T} O_i \qquad (۱)$$

مجموع واریانس درون خوشه‌ها[2] نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$TWCV = \sum_{k=1}^{nc}\sum_{i \in k}(O_i . O_{center}(T_k))^2 \qquad (۲)$$

در نهایت برای اعتبارسنجی از SC یا ضریب سیلهوت بین دو خوشه استفاده می‌شود که با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$if \quad (a<b) \quad : \quad SC = \frac{a}{b} - 1$$

$$if \quad (a>b) \quad : \quad SC = 1 - \frac{a}{b}$$

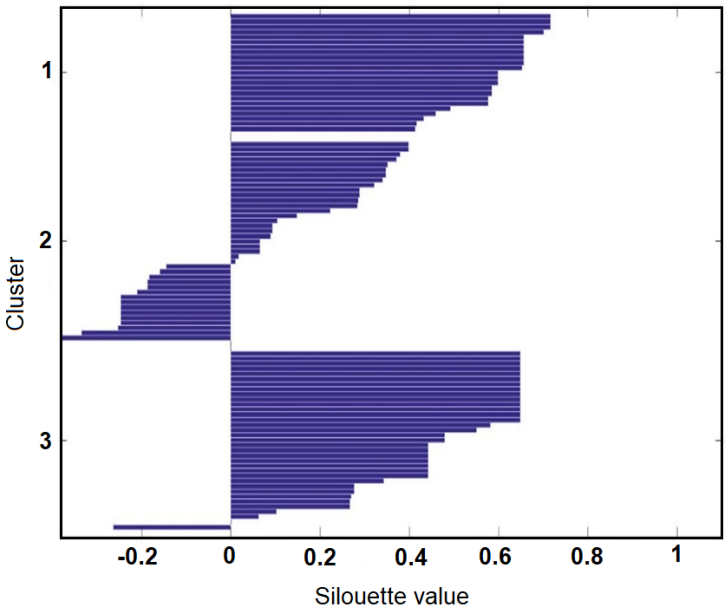
در معادلات بیان شده، a: متوسط فاصله بین داده i با سایر داده‌های درون یک خوشه و b: متوسط فاصله بین داده I با سایر داده‌ها در خوشه دیگر هستند. ضریب SC در بازه صفر و یک قرار دارد. هر چقدر این مقدار نزدیک به یک باشد بیان‌گر تفکیک بیش‌تر بین خوشه‌هاست (Dorigo & Di Caro, 1999).

نتایج و بحث

بر اساس روش بیان شده دو هدف اصلی این مطالعه شامل انتخاب روش بهینه جمع‌آوری آب باران و رده‌بندی شهرستان‌های استان مرکزی جهت جمع‌آوری آب باران انجام شد. با توجه به دسته‌بندی ارائه شده در جدول ۲ در خصوص روش‌های استحصال آب باران، برای انتخاب بهترین روش از روش خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم مورچگان استفاده شده است. به این منظور و در این روش تعداد روش‌ها را برابر تعداد خوشه‌ها انتخاب شده است. نتایج شبیه‌سازی در شکل ۸ نشان داده شده است.

[1] Integration of clustering analysis and ant colony system
[2] Total within cluster variance

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]



شکل ۸- خوشه‌بندی سه روش اصلی استحصال آب باران مبتنی بر الگوریتم بهبود یافته کلونی مورچگان

Figure 8- Clustering of three main methods Rainwater Harvesting Based on improved ant colony algorithm

طبق شکل ۸، هرچه ضریب اعتبارسنجی سایه‌نما[1] به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر تفکیک بیش‌تر بین خوشه‌ها بوده و این بدان‌معنی است که روش مورد نظر، عملکرد بهتری دارد. به عبارت بهتر این ضریب در واقع برآوردی از میزان جامعیت و تفکیک خوشه‌هاست. این ضریب بر اساس دو معیار فاصله نقطه‌داده مدنظر از سایر نقاط و فاصله نقطه‌داده مدنظر از نقاط درون سایر خوشه‌ها درون خوشه زیر به نشان می‌دهد که خوشه نسبت داده‌شده به هر نقطه‌داده، تا چه حد درست و مناسب است. در شکل ۸ نیز از میان سه روش اصلی استفاده از پشت‌بام، روش‌های درون شهری و اصلاح سطوح آبگیر، روش‌های درون شهری کم‌ترین مقدار ضریب را به خود اختصاص دادند. این مقایسه همانند مطالعه Parandin et al. (2019) بیان‌گر اهمیت استفاده از روش پشت‌بام در محیط‌های مسکونی است.

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، روش‌های یک و سه یا به عبارت بهتر روش‌های اصلاح سطوح آبگیر و روش جمع‌آوری آب باران در پشت‌بام، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. برای انتخاب این‌که از این دو روش بهترین زیر روش‌ها کدام گزینه خواهد بود، از روش خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم بهبود یافته مورچگان استفاده شده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد قبل از آن در جدول ۴ هر یک از روش‌های اولویت‌دار، شماره‌گذاری شده‌اند. تعداد روش‌ها، برابر تعداد خوشه‌ها انتخاب شده است.

پس از آن‌که از میان سه روش اصلی پیش‌بینی شده روش دوم یا به عبارت بهتر روش استفاده از سیستم‌های درون شهری از اولویت این مطالعه خارج شد، در ادامه این تحقیق به ارزیابی روش‌های موجود در دو روش باقی‌مانده پرداخته شده است. بر این اساس با شماره‌گذاری انجام شده در جدول ۴ و بر اساس روش الگوریتم فراابتکاری مورچگان نسبت به ارزیابی روش‌های ۱۶ گانه موجود در این دو روش اقدام شده است.

جدول ۴- شماره‌گذاری روش‌های مناسب استحصال آب باران

Table 4- Numbering of suitable methods of Rainwater Harvesting

1	متراکم‌سازی		
2	ایجاد ناهمواری		
3	نمک سدیم‌دار	اصلاح با مواد شیمیایی	اصلاح سطح آبگیر
4	سیلیکون		
5	پارافین		
6	روغن		
7	آسفالتی	پوشش‌های نفوذ ناپذیر	
8	پلاستیک و ژئوممبران		
9	قیر و پلاستیک		

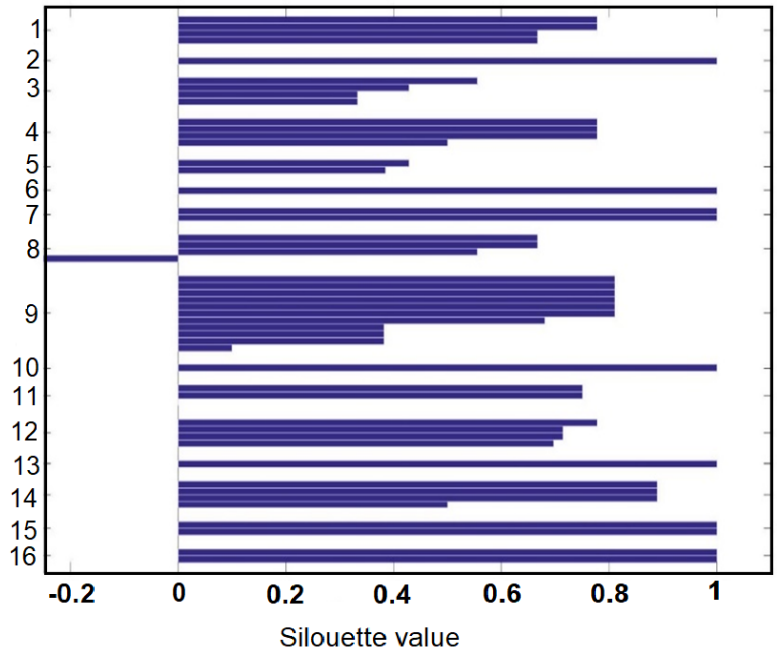
[1] Silouette value

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

10	لاستیک	
11	فلز	
12	بتن	
13	پشت‌بام (جریان کل)	پشت‌بام
14	پشت‌بام (انحراف جریان)	
15	پشت‌بام (باقی‌مانده حاوی دریچه)	
16	پشت‌بام (نفوذی)	

در روش‌های اصلاح سطوح آبگیر تمرکز اصلی بر روی امکان بهبود کیفیت محل یا سطح حوضه آبگیر جهت جمع‌آوری آب باران است. بنابراین همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود سطوح آبگیر را می‌توان با روش‌های شیمیایی یا فیزیکی برای جمع‌آوری آب باران اصلاح نمود. البته این روش‌ها خود دارای معایب و مزایای خاصی است که بر اساس شرایط محل مورد استفاده می‌بایست از آن‌ها استفاده شود. بر این اساس از معیارهای چهارگانه اصلی و زیر معیارهای آن‌ها برای ارزیابی و اولویت‌بندی هر یک از روش‌های ۱۶ گانه بیان شده در دو روش جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام و یا روش‌های اصلاح سطوح آبگیر استفاده شده است. نتیجه این ارزیابی در شکل ۹ نشان داده شده است. در محور افقی نمودار این شکل ضریب اعتبارسنجی سایه نما که قبلا اشاره شد و در محور قائم خوشه‌بندی ۱۶ روش جمع‌آوری آب باران نشان داده شده است. بر اساس شکل نه اکثر روش‌های جمع‌آوری آب باران در پشت‌بام و برخی روش‌های اصلاح خاک و زمین هم‌چون پوشش‌های نفوذناپذیر و ایجاد ناهمواری در فضاهای سبز و سایر مناطق مستعد مسکونی امکان موفقیت در جمع‌آوری و مدیریت آب باران را افزایش می‌دهد.



شکل ۹- خوشه‌بندی روش‌های پشت‌بام و اصلاح خاک برای استحصال آب باران مبتنی بر الگوریتم بهبود یافته کلونی مورچگان

Figure 9- Clustering of rooftop and soil modification methods for Rainwater Harvesting based on IASC

همان‌طور که بیان شد هدف دوم این مطالعه انتخاب و تعیین مکان‌های مناسب اجرای طرح‌های جمع‌آوری آب باران در سطح استان مرکزی بود. به‌منظور انتخاب مناطق یا شهرهایی که بهترین شرایط را در هر ماه دارند تابع هزینه به‌صورت زیر انتخاب شده است:

$$fitness = \frac{1}{mean} + \frac{1}{B_{24}} + \frac{1}{B_{2-24}} + \frac{1}{D_{BB10}} + D_B + D_{wB} + evaporate + temperature \quad (۳)$$

در این رابطه B_{24} نشان‌دهنده اولین حداکثر بارش ۲۴ ساعته، D_{BB10} نشان‌دهنده روزهای بارشی بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر، $mean$ نشان‌دهنده میانگین ماهانه، B_{2-24} نشان دهنده دومین حداکثر بارش ۲۴ ساعته، D_B نشان‌دهنده روزهای بارشی کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر،

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

D_{WB} نشان‌دهنده روزهای بدون بارش، $evaporate$ نشان‌دهنده میانگین تبخیر ماهانه و $temperature$ میانگین دما در ماه است. بر اساس ارزیابی‌های انجام شده و با توجه به نتایج تحلیلی به‌دست آمده می‌توان شهرهای استان را از نظر امکان‌سنجی استقرار سیستم‌های جمع‌آوری آب باران و به‌ترتیب شماره‌های ارائه شده در جدول ۵ ارزیابی نمود.

جدول ۵- شماره شهرستان‌های مورد بررسی

Table 5- The number of surveyed cities

شماره	نام شهر	شماره	نام شهر
1	اراک	7	خنداب
2	ساوه	8	کمیجان
3	تفرش	9	دلیجان
4	خمین	10	آشتیان
5	محلات	11	غرق آباد
6	شازند	12	فرمهین

با استفاده از الگوریتم مورچگان شهرهایی که بهترین وضعیت را در ماه دارند به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که تابع هزینه حداقل باشد. با استفاده از این الگو در جدول ۶ شهرهایی که بهترین وضعیت را در ماه دارند مشخص شده‌اند. بر این اساس خروجی تحلیل فرابتکاری را می‌توان برای همه شهرهای استان به تفکیک هر ماه و برای مناطق مختلف استان در جدول ۶ نشان داد. در این جدول ۱۲ شهرستان استان که در جدول ۵ شماره‌گذاری شده بودند، مورد ارزیابی و اولویت‌بندی قرار گرفتند. بنابراین در ۱۲ ماه مرتبط با یک سال آبی که از مهر هر سال آغاز شده و تا پایان شهریور ادامه یافته است این اولویت‌بندی انجام شده است. به‌طور مثال در مهر ماه شهر آشتیان و سپس شهر اراک بیش‌ترین و شهرهای محلات و ساوه دارای کم‌ترین شرایط ممکن برای جمع‌آوری آب باران هستند. با توجه به جدول ۷ شهرهای دارای امتیاز بیش‌تر، دارای اولویت بالاتری نسبت به سایر شهرها هستند. بر اساس روش الگوریتم بهبود یافته کلونی مورچگان نیز می‌توان نتایج تحلیل مکانی اولویت‌بندی شهرستانی استان را در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه نمود.

جدول ۶- اولویت‌بندی شهرستان‌های استان به تفکیک ماه

Table 6- Prioritizing the cities of the province by month

ماه	شماره شهرستان‌هایی که بهترین وضعیت را دارند به‌ترتیب اولویت											
مهر	10	1	7	12	8	6	3	11	4	9	5	2
آبان	6	10	7	1	11	8	12	3	4	5	9	2
آذر	6	10	11	7	8	4	1	3	12	9	5	2
دی	6	4	11	8	7	1	3	10	5	9	2	12
بهمن	1	8	6	11	3	7	12	4	10	5	2	۹
اسفند	6	10	7	11	5	8	3	4	9	12	1	2
فروردین	3	10	7	8	11	6	12	4	1	5	9	2
اردیبهشت	10	3	7	8	6	4	12	9	1	5	11	2
خرداد	3	10	6	7	1	8	4	12	5	11	9	2
تیر	10	7	4	3	8	5	12	11	9	2	6	1
مرداد	10	6	7	5	8	2	1	6	4	11	3	12
شهریور	10	6	1	7	11	5	4	12	3	9	8	2
بائیز	6	1	7	10	8	11	4	12	3	9	5	2
زمستان	6	10	7	11	5	8	3	4	9	12	1	2
بهار	3	10	7	6	8	12	1	4	11	5	9	2
تابستان	6	10	7	1	12	3	8	4	5	11	2	9
سالانه	10	6	7	8	12	11	5	4	9	3	1	2

جدول ۷-اولویت‌بندی مکانی شهرستان‌های استان جهت اجرای سیستم جمع‌آوری آب باران به تفکیک ماه

Table 7- Spatial prioritization of the cities of the province to implement the Rainwater Harvesting system based on the month

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

اولویت	آشتیان	شازند	شازند	شازند	اراک	شازند
ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
اولویت	تفرش	آشتیان	تفرش	آشتیان	آشتیان	آشتیان

جدول ۸- اولویت‌بندی مکانی شهرستان‌های استان جهت اجرای سیستم جمع‌آوری آب باران به تفکیک فصل

Table 8- Spatial prioritization of the cities of the province to implement the Rainwater Harvesting system based on the season

فصل	بائیز	زمستان	بهار	تابستان
اولویت	شازند	شازند	تفرش	شازند

شهرهای آشتیان در پنج ماه و شهرستان شازند در چهار ماه از سال بیش‌ترین اولویت را جهت استحصال آب باران دارند. پس از آن شهرهای تفرش و اراک در اولویت‌های سوم و چهارم هستند. از نظر فصلی نیز شهرستان شازند و سپس تفرش از اولویت بالاتری برخوردار هستند که البته این جدول جمع امتیازی مناطق را نشان می‌دهد و لذا شهرستان شازند در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. جدول‌های ۷ و ۸ بر اساس تحلیل و خروجی الگوریتم فرابتکاری از جدول ۶ است. به عبارت بهتر روش الگوریتم فرابتکاری امکان بهینه‌یابی شهرهای استان به تفکیک ماه و فصل را از جدول ۶ تعیین کرده و در نهایت در جدول‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد اگرچه با تغییرات محیطی، اجتماعی–اقتصادی و اقلیمی، سیستم‌های تامین آب شهری و روستایی استان مرکزی همانند بسیاری از نقاط دیگر ایران و جهان تحت فشارهای شدیدی قرار دارند (Wen et al., 2022; Zhang et al., 2020)، اما در این زمینه مطالعه انجام شده همانند سایر مطالعات (Ortiz et al., 2022; Ali & Sang, 2022) نشان می‌دهند که با اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران می‌توان اقدامات مناسب و موثری برای تضمین تامین پایدار آب و انرژی در مناطق شهری و حمایت از تحولات محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی پایدار در شهرها اتخاذ نمود. مطالعه حاضر با سایر تحقیقات (Ortiz et al., 2022; Ali & Sang, 2022) از این جهت تطبیق دارد که ظرفیت سطوح آبگیر نوع پشت‌بام از نظر اقتصادی به مساحت و حجم قابل ذخیر بسیار مرتبط است. از سوی دیگر مشارکت بخش خصوصی امکان کاهش فشار تامین آب از سوی نهاد دولت را کاهش می‌دهد. بنابراین برای جمع‌آوری و ذخیره آب باران از پشت‌بام‌ها در طول رویدادهای بارندگی و ذخیره آن در مخازن برای استفاده به‌عنوان جایگزین آب لوله کشی برای کاربردهای غیر شرب یا آشامیدنی استفاده می‌شود (Mao et al., 2022). البته انتخاب هر یک از روش‌های بیان شده بر اساس معیارهای چهارگانه در نظر گرفته برای هر شهرستان تفاوت‌هایی دارد که خود بیان‌گر دقت بالای این روش است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱- بر اساس یافته‌های این مطالعه چهار گروه اصلی معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی مناسب جهت ارزیابی روش‌های جمع‌آوری آب باران وجود دارد که در مطالعات استحصال آب باران بهتر است در نظر گرفته شوند.

۲- با انجام مطالعات میدانی و تهیه پرسشنامه تخصصی و کسب نظر کارشناسان و متخصصان حوزه منابع آب مهم‌ترین عوامل در انتخاب مکان مناسب و روش جمع‌آوری آب باران شرایط آب و هوایی و به‌ویژه عامل‌های میزان بارش، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و روزهای بارشی دارای ۱۰ میلی‌متر بارندگی است.

۳- با توجه به معیارهای چهارگانه، برخی از مناطق استان من‌جمله شهرستان‌های آشتیان، شازند، تفرش و اراک نسبت به سایر شهرستان‌ها از اولویت بیش‌تری برای اجرای این طرح برخوردار هستند. وجود بارندگی‌های مناسب و علی الخصوص حداکثر بارش ۲۴ ساعته بهتر این مناطق نسبت به سایر شهرستان‌های استان موفقیت اجرای جمع‌آوری آب باران و مدیریت آن را در این‌گونه شهرها افزایش می‌دهد.

۴- ارزیابی فراابتکاری روش‌های جمع‌آوری آب باران نشان می‌دهد بهترین روش از نظر معیارهای چهارگانه و از سوی دیگر شرایط آب و هوایی استان مرکزی، روش‌های استفاده از سطح پشت‌بام مناطق مسکونی، تجاری، گلخانه و سایر سایت‌ها و هم‌چنین استفاده از روش‌های اصلاح سطوح آبگیر است که با کم‌ترین هزینه می‌تواند بیش‌ترین بازده آبی را داشته باشد.

۵- با توجه به معیارهای چهارگانه، برخی از مناطق استان من‌جمله شهرستان‌های آشتیان، شازند، تفرش و اراک نسبت به سایر شهرستان‌ها از اولویت بیش‌تری برای اجرای این طرح برخوردار هستند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

ملاحظات اخلاقی

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

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی خاص انجام شده و از شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی حمایت مالی دریافت نموده است.

مشارکت نویسندگان: مصطفی یوسفی‌راد و فربود ستوده به‌ترتیب به میزان ۷۰ و ۳۰ درصد در تدوین این مقاله مشارکت داشته‌اند.

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

سپاس‌گزاری: این مقاله قسمتی از نتایج پروژه تحقیقاتی است که در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی به اجرا در آمده است. نگارندگان این مقاله از زحمات آقایان مهندس حشمت‌اله عباسی مدیرعامل، مهندس مامقانی‌نژاد معاون توسعه و تحقیقات و همچنین مهندس جهانگیری کارشناس بخش تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی در مراحل مختلف اجرای این پروژه قدردانی می‌نماید.

منابع

۱. اکبرپور، ابوالفضل، صادقی، شهرزاد، فروغی‌فر، حامد و شهیدی، علی. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های مکانیابی مناطق مستعد جمع‌آوری باران به کمک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) مبتنی بر GIS، نشریه تحقیقات اطلاع‌رسانی و کتابخانه‌های عمومی، ۳۹، ۱۶۴-۱۴۷. **doi.org/10.22111/gdij.2015.2010**

۲. زراعتکار، زهرا، خاشعی سیوکی، عباس و حسن‌پور، فرزاد. (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه شهری (مطالعه موردی: شهر بیرجند)، سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۳(۲)، ۱۴-۱. **URL: http://jircsa.ir/article-1-84-fa.html**

۳. سلطانی، عادل. (۱۳۹۶)، امکان سنجی مناطق مستعد استحصال آب باران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه خسروآباد شهرستان سنقر)، سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۵(۲)، ۷۶-۶۵. **http://jircsa.ir/article-1276-fa.html**

۴. صادقی، هومن، قاسمی، احمدرضا، نصراصفهانی، محمد علی. (۱۴۰۲). تعیین مناطق مناسب اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری باران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره) مطالعه موردی: استان اصفهان، هواشناسی کشاورزی. ۱۱(۱)، ۱۷-۲۶. **doi.org/10.22125/agmj.2023.340391.1135**

References

1. Abdulla, F. A. & Al-Shareef, A.W. (2009). Roof rain-water harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195-207. doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013. doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013
2. Abkhizi, Kh., Khosravi, H., Khalighi, Sh., Moghaddamnia, A., Talebiniya, M. (2020). Suitable site selection for rainwater harvesting for drinking and agricultural purposes using Hub Coating Problem (PR Algorithm). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(49), 83-92. http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1402.17.61.4.8.
3. Akbarpour, A., Sadeghi, S., Foroghifar, H., & Shahidi, A. (2015). Comparison of Methods for Locating Suitable Areas for Rain Water Collection by Using Decision Support System (DSS) Based on GIS. *Geography and Development*, 13(39), 147-164. doi.org/10.22111/gdij.2015.2010. [In Persian].
4. Akter, A. and Ahmed, Sh. (2015). Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh, *Journal of Hydrology*, 528: 84-93. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.017.
5. Alfaia, S. S., Ayres, M. I. C., Neves, A. L., Uguen, K., Miller, R. P., Fajardo, J. D. V., Bakker, A. P., &Ticona-Benavente, C. A. (2022). Chemical features of floodplain soils under different land-uses in the Solimões/Amazon River basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 46:e0220005. doi.org/10.36783/18069657rbcs20220005
6. Ali, S., & Sang, Y. F. (2023). Implementing rainwater harvesting systems as a novel approach for saving water and energy in flat urban areas. *Sustainable Cities and Society*, *89*, 104304. doi.org/10.1016/j.scs.2022.104304.
7. Banai-Kashani, R. (1989). A new method for site suitability analysis: The analytic hierarchy process. *Environmental management*, *13*, 685-693. doi.org/10.1007/BF01868308
8. Bing, Z. E. N. G., Tan, H. Q., & Wu, L. J. (2007). A new approach to urban rainwater management. *Journal of China University of Mining and Technology*, *17*(1), 82-84. doi.org/10.1016/S1006-1266(07)60018-2.
9. Brempong, M. B., Amankwaa-Yeboah, P., Yeboah S., Owusu Danquah, E., Agyeman, K., Keteku, A. K.,Addo-Danso, A., & Adomako, J. (2023). Soil and water conservation measures to adapt cropping systems toclimate change facilitated water stresses in Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6:1091665. doi:10.3389/fsufs.2022.10916
10. Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, *63*, 9-16. doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

11. Dorigo, M., & Di Caro, G. (1999, July). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)* (Vol. 2, pp. 1470-1477). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/782657
12. Elewa, H. H., Qaddah, A. A., & El-Feel, A. A. (2012). Determining potential sites for runoff water harvesting using remote sensing and geographic information systems-based modeling in Sinai. American *Journal of Environmental Sciences*, 8, 42-50. doi.org/10.3844/ajessp.2012.42.55.
13. Eroksuz, E. and Rahman, A. (2010) Rainwater Tanks in Multi-Unit Buildings: A Case Study for Three Australian Cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 1449-1452. doi.org/10.1016/j. resconrec.2010.06.010.
14. García-Comendador, J., Martínez-Carreras, N., Fortesa, J., Borràs, A., Palacio, E., & Estrany, J. (2022). *Sediment Fingerprinting Tracer Conservativeness: Exploring the In-Channel Soil Properties variability* (No. ICG2022-530). Copernicus Meetings. doi.org/10.5194/icg2022-530
15. Hassanpour, R., Reyhan, M. E. S., Seifzadeh, K., & Markid, A. L. (2023). The effect of rainwater harvesting systems in increasing vegetation cover (Case study: Khajeh research station, East Azerbaijan province). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *11*(3), 16-29. URL: http://jircsa.ir/article-1-501-en.html.
16. Husen, S., Khamitkar, S., Bhalchandra, P., Tamsekar, P., Kulkarni, G., & Hambarde, K. (2020). Prediction of artificial water recharge sites using fusion of RS, GIS, AHP and GA Technologies. In *Advances in Data Science and Management: Proceedings of ICDSM 2019* (pp. 387-394). Springer Singapore.. doi.org/10.1007/978-981-15-0978-0_38.
17. Imteaz, M. A., Shanableh, A., Rahman, A., & Ahsan, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, *55*(11), 1022-1029. doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.013.
18. Jones, M., Hunt, W. F., & Wright, J. (2009). Rainwater harvesting experiences in the humid southeast USA. *In World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers* (pp. 1-7). doi.org/10.1061/41036(342)209.
19. Kuo, R. J., Lin, S. Y., & Shih, C. W. (2007). Mining association rules through integration of clustering analysis and ant colony system for health insurance database in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, *33*(3), 794-808. doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.035.
20. Mahmoud, W. H., Elagib, N. A., Gaese, H., & Heinrich, J. (2014). Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. *Resources, Conservation and Recycling*, *91*, 89-99. doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.014.
21. Mao, J., Xia, B., Zhou, Y., Bi, F., Zhang, X., Zhang, W., & Xia, S. (2021). Effect of roof materials and weather patterns on the quality of harvested rainwater in Shanghai, China. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123419. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123419.
22. Ortiz, S., de Barros Barreto, P., & Castier, M. (2022). Rainwater harvesting for domestic applications: The case of Asunción, Paraguay. *Results in Engineering*, *16*, 100638. doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100638.
23. Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L. G., & La Barbera, P. (2012). Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, *62*, 71-80. doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.006.
24. Parandin, M. A., Zolfaghari, H., & Fathnia, A. (2019). Rainwater harvesting from Kermanshah city roofs and recognizing the suitable places for water saving to irrigate urban green spaces. *Physical Geography Research*, *51*(3), 483-496. doi.org/10.22059/jphgr.2019.271135.1007313.
25. Raskar, T., Gaikwad, H., Kadekar, O., & Umrikar, B. N. (2019). Impact Assessment of Water Harvesting Structures in Micro-Watersheds of Nira River Basin, Maharashtra, India. *Hydrospatial Analysis*, *3*(2), 72-89. doi.org/10.21523/gcj3.19030203.
26. Sadeghi, H., Ghasemi, A. R., & Nasr Isfahani, M. A. (2023). Identification of suitable sites for small rainwater harvesting structures using multi-criteria decision-making models (Case study: Isfahan province). *Journal of Agricultural Meteorology*, *11*(1), 17-26. doi.org/10.22125/agmj.2023.340391.1135. [In Persian].
27. Soltani, A. (2017). Feasibility of susceptible areas for rainwater harvesting, based on AHP in GIS environment (a case Study: Khosroabad watershed, Iran). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *5*(2), 65-76. URL: http://jircsa.ir/article-1-276-fa.html. [In Persian].
28. Wen, L. Z., Suhaimi, H., & Abas, P. E. (2022, October). Techno-economic feasibility of rainwater harvesting system for vertical aquaponics in Brunei Darussalam. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2676, No. 1). AIP Publishing. doi.org/10.1063/5.0109382.
29. Zeraatkar Z, Khashei-Siouki A, Hassanpour F. (2015). Application of Analytical Hierarchy Process in Topology of Rain Water Collection in Urban Basin (Case study: Birjand City). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 3(2), 1-14. URL: http://jircsa.ir/article-1-84-fa.html. [In Persian].
30. Zhong, F., Bai, N., Chu, X., He, Y., Zhang, H., & Li, H. (2022). Effects of Lake Sediment on Soil Properties, Crop Growth, and the phoD-Harboring Microbial Community. *Agriculture*, *12*(12), 2065. doi.org/10.3390/agriculture12122065

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]

31. Ziadat, F., Bruggeman, A., Oweis, T., Haddad, N., Mazahreh, S., Sartawi, W., & Syuof, M. (2012). A participatory GIS approach for assessing land suitability for rainwater harvesting in an arid rangeland environment. *Arid Land Research and Management*, 26(4), 297–311. doi.org/10.1080/15324982.2012.709214.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.8.3]