



## Developing technical strategies for water resource management smartization using content analysis in Hamedan city

Hadi RezaeiRad<sup>1\*</sup>, Majid Gharib Zahedi<sup>2</sup>

1 Department of Urbanism, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2 Urban Design student, Department of Urbanism, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*Corresponding Author email:* H.rezaeirad@Basu.ac.ir

© The Author (s) 2025

Received: 16 Jun 2025

Revised: 11 Aug 2025

Accepted: 14 Sept 2025

Published: 08 Oct 2025

### Extended Abstract

#### Introduction

Iran's water crisis, particularly in Hamedan, has emerged as a critical environmental and social challenge. Factors such as climate change, decreasing precipitation, groundwater depletion, and unplanned urban expansion have intensified this crisis, highlighting the limitations of conventional water management methods. Although the smart city concept has been widely explored, a comprehensive framework specifically for smart water resource management is still lacking. This study addresses this gap by developing an integrated and localized model for Hamedan. The model prioritizes not only operational efficiency but also spatial justice, technological citizen engagement, and environmental sustainability. The key research questions are: Which smart city indicators most significantly influence water resource management? What are the specific indicators for smart water management? And how can they be incorporated into a conceptual model for Hamedan?

#### Materials and Methods

This study adopted a mixed-methods (qualitative-quantitative) and descriptive-analytical approach. Initially, a systematic review of literature identified relevant smart city and water management indicators. These indicators were then refined and validated through a two-round Delphi survey involving 15 experts in water management and urban planning. In the quantitative phase, data were gathered using structured questionnaires. The sample size was determined by Cochran's formula, resulting in 38 valid responses for analysis. Data analysis was conducted using SPSS (for descriptive and inferential statistics), ArcGIS (for spatial analysis and clustering), and Excel (for data organization and visualization). The Jenks Natural Breaks method in ArcGIS was used to optimally classify data and assess the relative influence of various smart city dimensions on water management indicators.

#### Results and Discussion

The findings indicate that the various dimensions of a smart city have varying levels of impact on water resource management. The most influential dimensions were Smart Governance (mean score: 4.4), Smart Environment (mean score: 4.3), and Smart Economy (mean score: 4.2). In contrast, Smart Mobility (mean score: 3.5) demonstrated the least effect.

Crucially, this research identified, for the first time, eight key indicators for smart water resource management:

Digital Governance of Water Resources (mean: 4.4)

Technological Participation and Citizen Water Literacy (mean: 4.5)

Smart Quality Monitoring (mean: 4.3)

Real-time Quantitative Monitoring (mean: 3.8)

Integrated Data-Driven Management (mean: 4.1)

Climatic and Ecological Resilience (mean: 3.7)

Spatial Matching of Resources and Consumption (mean: 4.2)

Water Equity and Spatial Deprivation (mean: 4.1)



A comparative analysis showed that governance- and environment-related indicators are the most effective in enhancing water management, significantly improving efficiency, institutional transparency, and spatial justice.

## Conclusion

The developed conceptual model not only pinpoints new indicators but also offers practical implementation strategies for Hamedan. In this model:

Digital governance is strengthened via integrated data management systems and geospatial databases.

Technological participation and water literacy are promoted through interactive dashboards, smart educational programs, and citizen-centric mobile applications.

Smart monitoring is enabled using IoT devices, sensors, and SCADA systems.

Spatial matching and water equity are addressed through GIS-based analyses to design fair water distribution patterns.

Consequently, the proposed model for Hamedan can identify critical points, optimize resource allocation, reduce water loss, and simultaneously enhance institutional transparency, public participation, and urban resilience. Integrating these findings into urban development plans can align municipal policies with smart water management, ensuring the long-term sustainability of water resources.

**Keywords:** Water Resource Management, Smart City, Climate Change, Smartization strategies

## 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.

## Author Contributions

**Hadi RezaeiRad:** Analysis, Supervision, Writing – Review & Editing, Data Curation; **Majid Gharib Zahedi:** Writing, Methodology, Investigation, Data Collection, Software.

**Citation:** RezaeiRad, H., & Gharib Zahedi, M. (2025). Developing technical strategies for water resource management smartization using content analysis in Hamedan city. *Technical Strategies in Water Systems*, 3(2),

**Publisher:** Islamic Azad University, Isfahan Branch



## تدوین راهبردهای فنی هوشمندسازی مدیریت منابع آب با استفاده روش تحلیل محتوا

در شهر همدان

هادی رضایی‌راد<sup>۱\*</sup>، مجید غریب‌زاهدی<sup>۲</sup>

۱. گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: H.rezaeirad@Basu.ac.ir

© The Author (s) 2025

چاپ: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

## چکیده

بحران فزاینده منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی، افت سفره‌های زیرزمینی و توسعه نامتوازن شهری، شهر همدان را با چالش‌های جدی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه ساخته است. در این میان، هوشمندسازی به‌عنوان رویکردی نوین در مدیریت منابع آب شهری، امکان تحول در ساختار تصمیم‌گیری و تخصیص منابع را فراهم می‌کند. در این پژوهش، از رویکرد ترکیبی کیفی-کمی استفاده شد. ابتدا شاخص‌های مرتبط با شهر هوشمند و مدیریت منابع آب از طریق مرور نظام‌مند ادبیات استخراج گردید. سپس این شاخص‌ها با بهره‌گیری از روش دلفی و نظر خبرگان حوزه آب، پالایش و اعتبارسنجی شدند. در ادامه، داده‌های حاصل با روش خوشه‌بندی طبعی جنکس دسته‌بندی و میزان اثرگذاری ابعاد مختلف شهر هوشمند بر شاخص‌های مدیریت منابع آب محاسبه گردید. نتایج کمی نشان داد که در میان ابعاد شهر هوشمند، محیط زیست هوشمند، حکمرانی هوشمند و اقتصاد هوشمند بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های مدیریت منابع آب داشته‌اند در حالی که تحرک هوشمند کمترین تأثیر را داشته است. همچنین هشت شاخص کلیدی مدل شامل حکمرانی دیجیتال منابع آب با میانگین اثرگذاری ۴/۴، مشارکت فناورانه و سواد آبی شهروندی با میانگین اثرگذاری ۴/۵، پایش کیفی هوشمند با میانگین اثرگذاری آن ۴/۳، پایش کمی بلادرنگ با میانگین اثرگذاری ۳/۸، مدیریت یکپارچه داده‌محور با میانگین اثرگذاری ۴/۱، تاب‌آوری اقلیمی و زیستی با میانگین اثرگذاری ۳/۷، تطبیق مکانی منابع و مصارف با میانگین اثرگذاری ۴/۲، و عدالت آبی و محرومیت فضایی با میانگین اثرگذاری ۴/۱ شناسایی شدند. مقایسه بین شاخص‌ها نشان داد که ابعاد مرتبط با حکمرانی و محیط‌زیست نسبت به سایر ابعاد، تأثیرگذاری بیشتری در بهبود مدیریت منابع آب دارند. جمع‌بندی کلی بیانگر آن است که مدل مفهومی پیشنهادی می‌تواند با شناسایی نقاط بحرانی، بهینه‌سازی تخصیص منابع و کاهش پرت آب، زمینه ارتقاء شفافیت نهادی، مشارکت شهروندی و تاب‌آوری شهری را در برابر بحران‌های آتی فراهم سازد. همچنین، به‌کارگیری این نتایج در قالب طرح‌های توسعه شهری می‌تواند ضمن ایجاد هم‌راستایی میان سیاست‌های شهری و مدیریت هوشمند منابع آب، زمینه تحقق عملی دستوردهای پژوهش، ارتقای کارایی طرح‌ها و افزایش پایداری بلندمدت منابع آبی را فراهم سازد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، شهر هوشمند، تغییرات اقلیمی، راهبردهای هوشمندسازی

استناد: رضایی‌راد، ه.، غریب زاهدی، م. (۱۴۰۴). تدوین راهبردهای فنی هوشمندسازی مدیریت منابع آب با استفاده روش تحلیل محتوا در شهر همدان. راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی، ۳(۲):

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

## ۱- مقدمه

تغییر اقلیم با افزایش دما، کاهش بارش و نوسانات شدید اقلیمی، تأثیر چشمگیری بر منابع آب گذاشته است (Abbaspour et al., 2009; Eslamian et al., 2019). داده‌های شبکه ETCCDI<sup>1</sup> برای ایران (۱۹۹۲-۲۰۲۲) نشان می‌دهد که کاهش بارندگی و افزایش دما منجر به تشدید تنش‌های آبی شده است (Mohammadi, 2012). در شهرها، گسترش ساخت‌وساز و پوشش‌های غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب، افزایش رواناب و بروز بحران‌هایی مانند سیلاب ناگهانی و کاهش ذخیره آب می‌شود (Charters et al., 2021). مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان همدان تحت تأثیر این تغییرات، با کاهش بارش و افزایش دما و در نتیجه افت منابع آبی و فشار بر کشاورزی و آبخوان‌ها مواجه‌اند (Abbaspour et al., 2009). همدان با بیش از ۴۸٪ مساحت کشاورزی، از کاهش منابع آب بیشترین آسیب را دیده و نیازمند مدیریت بهینه است. فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، حسگرها، داده‌کاوی و معماری‌های دیجیتال می‌توانند با پایش بلادرنگ جریان، کیفیت و فشار آب، مدیریت منابع را بهبود دهند (Iancu et al., 2024; Jana, 2024) و سیستم‌های هوشمند آب شهری نیز می‌توانند تاب‌آوری را افزایش، نشت را کاهش و پاسخ به بحران‌ها را مؤثرتر کنند (Adeoti et al., 2025; Khatibi et al., 2022). با این حال، چارچوب عملیاتی بومی برای استفاده مؤثر از این فناوری‌ها در شهرهای ایران، به‌ویژه همدان، تدوین نشده است. هدف این پژوهش، طراحی مکانیزم اجرایی هوشمند و سازگار با ساختار نهادی و شرایط اقلیمی-اجتماعی همدان است که بتواند با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، پاسخ‌گوی فشارهای ناشی از تغییر اقلیم باشد.

## ۱-۱- پیشینه تحقیق

با هدف تبیین چارچوب نظری پژوهش و شناخت روندهای مطالعاتی مرتبط، مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام شد. تمرکز این مرور بر مطالعاتی است که به بررسی اثرات تغییر اقلیم، مدیریت منابع آب و به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند در این حوزه پرداخته‌اند. جدول (۱) خلاصه‌ای از نتایج کلیدی این مطالعات را ارائه می‌دهد. در دهه‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در زمینه مدیریت هوشمند منابع آب و توسعه شهرهای هوشمند انجام شده است. Rodgers (2000) و Washburn et al. (2010) با معرفی مفهوم شهر هوشمند و تأکید بر حکمرانی داده‌محور، چارچوب نظری لازم برای پیوند فناوری و مدیریت منابع شهری را بنیان گذاشتند. در ادامه، پژوهش‌هایی مانند Mutchek & Williams (2014) و Dong & Wang (2015) بر نقش فناوری‌های ICT<sup>2</sup> و سامانه‌های پایش بلادرنگ در بهبود مدیریت آب شهری تأکید داشته‌اند. در سطح بین‌المللی، مطالعاتی همچون Bartos et al. (2017) و Turcu & Turcu (2018) اهمیت اینترنت اشیا و سیستم‌های هوشمند در کاهش هدررفت و افزایش تاب‌آوری شبکه‌های آبی را نشان داده‌اند. همچنین مدل‌های کلان‌مقیاسی مانند WaterGAP (Döll et al., 2018; Zhao & Boll, 2022)<sup>3</sup> اثرات تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر منابع آب جهانی را شبیه‌سازی کرده و بر ضرورت تغییر رویکردهای سنتی مدیریت آب تأکید کرده‌اند. در ایران نیز پژوهش‌هایی نظیر Amiri & Gheysari (2012) درباره مدیریت بهینه آبیاری با داده‌های اقلیمی و Jafari et al. (2021) در زمینه کنترل فشار هوشمند در شبکه توزیع آب همدان، به اهمیت فناوری‌های نوین در ارتقای بهره‌وری منابع آبی پرداخته‌اند.

<sup>1</sup> Expert Team on Climate Change Detection and Indices<sup>2</sup> Information and Communications Technology<sup>3</sup> Water Global Assessment and Prognosis

جدول ۱- پیشینه تحقیق (منبع: نگارندگان)

Table 1. Research background (Source: The Authors)

| نویسنده/سال                               | عنوان                                                                   | روش                                                                                                                    | نتیجه                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rodgers (2000)                            | تحلیل مفهوم تکاملی شهر هوشمند                                           | تحلیل نظری                                                                                                             | شهر هوشمند به عنوان پدیده‌ای اجتماعی، فناورانه و نهادی با ابعاد چندگانه معرفی شده است.                                                                                                             |
| Washburn et al. (2010)                    | مدل مفهومی شهر هوشمند برای CIO <sup>1</sup> ها                          | تحلیل راهبردی                                                                                                          | تاکید بر اهمیت مدیریت داده‌محور و استفاده از فناوری اطلاعات برای مدیریت هوشمند منابع شهری.                                                                                                         |
| Amiri & Gheysari (2012)                   | مدیریت مصرف آب در آبیاری قطره‌ای و بارانی با استفاده از داده‌های اقلیمی | تحلیل داده‌های هواشناسی و مدل‌سازی مصرف آب                                                                             | سیستم‌های اتوماتیک آبیاری با اتکاء به داده‌های بلندمدت هواشناسی می‌توانند نقش مؤثری در کاهش مصرف آب و بهینه‌سازی بهره‌برداری داشته باشند.                                                          |
| Hancke et al. (2013)                      | زیرساخت‌های هوشمند آبرسانی                                              | مرور فناوری‌های پیشرفته                                                                                                | تعامل بلادرنگ و کنترل کیفیت آب برای شهرهای هوشمند حیاتی است.                                                                                                                                       |
| Mutcheck & Williams (2014)                | مدیریت بحران آب در شهر هوشمند                                           | مرور تجربیات موفق جهانی                                                                                                | استفاده از فناوری‌های بلادرنگ برای کنترل بحران‌های آب حیاتی است.                                                                                                                                   |
| Dong & Wang (2015)                        | نقش فناوری‌های ICT در مدیریت آب شهر هوشمند                              | تحلیل پروژه‌های پیاده‌سازی ICT                                                                                         | فناوری‌های ICT مشارکت شهروندان در مدیریت منابع آبی را افزایش می‌دهد.                                                                                                                               |
| Baneshi & Mehraban (2015)                 | نقش سیستم‌های BMS <sup>2</sup> در کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی منابع    | تحلیل مفهومی و تجربی                                                                                                   | سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) موجب صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی می‌شوند و می‌توانند در زیرساخت‌های قناتی مدرن نیز مؤثر باشند.                                                              |
| Mohammad Sanabadi (2015)                  | بررسی فناوری نرخ متغیر در آبیاری دقیق                                   | مطالعه موردی و تحلیل فنی                                                                                               | آبیاری هوشمند با فناوری نرخ متغیر باعث افزایش چشمگیر بهره‌وری و کاهش مصرف آب می‌شود.                                                                                                               |
| Islamic Parliament Research Center (2016) | شهر هوشمند و الزامات قانونی آن                                          | مرور اسناد و تحلیل راهبردی                                                                                             | توسعه شهرهای هوشمند نیازمند قوانین حمایتی، مشارکت شهروندان، و فناوری‌های NBIC <sup>3</sup> است.                                                                                                    |
| Bartos et al. (2017)                      | اوپن استورم: چارچوبی برای پایش و کنترل حوضه‌های آبریز شهری              | توسعه پلتفرم IoT <sup>4</sup> متن‌باز                                                                                  | بهبود مدیریت سیلاب شهری از طریق پایش و کنترل بلادرنگ منابع آب.                                                                                                                                     |
| Döll et al. (2018)                        | تحلیل تجمیعی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی فصلی جریان رودخانه‌ها           | مدل‌سازی هیدرولوژیکی با تحلیل سناریوهای اقلیمی                                                                         | تغییرات اقلیمی موجب دگرگونی شدید در رژیم رواناب رودخانه‌ها شده و زمان‌بندی و شدت جریان‌ها را در مقیاس جهانی تغییر می‌دهد.                                                                          |
| Turcu & Turcu (2018)                      | رویکرد مبتنی بر اینترنت اشیا برای پایش و کنترل خدمات‌رسانی آب           | طراحی و آزمایش سیستم IoT                                                                                               | کاهش هدررفت آب با پایش هوشمند و مدیریت فشار شبکه.                                                                                                                                                  |
| Yigitcanlar et al. (2018)                 | محرک‌های توسعه شهر هوشمند                                               | تحلیل چندبعدی تطبیقی                                                                                                   | توسعه پایدار، بهبود کیفیت زندگی و نوآوری، محرک‌های اصلی در توسعه شهرهای هوشمند هستند.                                                                                                              |
| Ashofte et al (2019)                      | ارائه رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب            | مدل‌سازی احتمالاتی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM <sup>5</sup> ) و شبیه‌سازی بارش و دبی با SWAT <sup>6</sup> | معرفی یک چارچوب ارزیابی احتمالاتی برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها؛ نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی آینده موجب کاهش جریان رودخانه و افزایش خطر کم‌آبی خواهد شد. |

<sup>1</sup> Chief Information Officer<sup>2</sup> Building Management System<sup>3</sup> Nano: Nanotechnology; Bio: Biotechnology; Info: Information Technology; Cogno: Cognitive Technology<sup>4</sup> Internet of Things<sup>5</sup> General Circulation Model<sup>6</sup> Soil and Water Assessment Tool

| ادامه جدول ۱                  |                                                                                                     |                                                               |                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fadaei-Beghaei (2019)         | پیاده سازی شبکه هوشمند آب برای بهینه سازی توزیع                                                     | اجرای آزمایشی سنسورهای هوشمند و پایش برخط                     | کاهش چشمگیر آب بدون درآمد و بهبود بهره وری عملیاتی                                                                                                              |
| Karami (2020)                 | بازکاوی پیامدها و شیوه های مدیریت تغییرات اقلیمی                                                    | تحلیل سناریو محور در حوضه آبریز مرکزی ایران                   | تغییر اقلیم در ایران منجر به افت بارندگی و افزایش ریسک ناپایداری منابع آب شده و نیازمند به کارگیری مدیریت تطبیقی و تحلیل های اقلیمی بومی است.                   |
| Gupta et al. (2020)           | بررسی راهکارهای هوشمند مبتنی بر AI <sup>1</sup> و IoT <sup>1</sup> برای مدیریت پایدار منابع آب شهری | مرور سیستماتیک و تحلیل کاربرد فناوری های نوین                 | استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در شبکه های آبرسانی شهری موجب بهینه سازی مصرف، کاهش نشت، و افزایش تاب آوری زیرساخت ها شده است.                             |
| Souri Nejad (2020)            | ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی تجدیدپذیر سی حوضه آبریز کشور                             | مدل سازی تغییر اقلیم با داده های RCP <sup>2</sup>             | سناریوهای RCP نشان می دهند که تغییر اقلیم موجب کاهش شدید آب سطحی قابل استحصال در اغلب حوضه های آبریز کشور خواهد شد.                                             |
| Abbas-Novinpour et al. (2021) | اثر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت روضه چای                                            | شبیه سازی هیدرولوژیکی با مدل SWAT و سناریوهای اقلیمی          | تغییر اقلیم باعث کاهش دبی سطحی و افت منابع زیرزمینی در دشت مورد مطالعه شده است، به ویژه تحت سناریوی RCP8.5.                                                     |
| Jamsheedi (2021)              | الزامات و نقشه راه هوشمندسازی شبکه توزیع آب شهری                                                    | مطالعه موردی با به کارگیری مدل مارپیچ در ارتقاء سامانه اسکادا | کاهش هدررفت، بهبود مدیریت فشار و کیفیت آب، افزایش رضایت مشترکین                                                                                                 |
| Jafari et al. (2021)          | بررسی اثر کنترل فشار هوشمند در شبکه توزیع آب شهر همدان                                              | آزمایش میدانی با کنترل کننده های فشار پیشرفته                 | کاهش قابل توجه جریان حداقل شبانه و نشت، بهبود کارایی شبکه                                                                                                       |
| WaterGAP Project (2021)       | مدل سازی هیدرولوژیکی جهانی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم                                              | مدل سازی جهانی با استفاده از WaterGAP                         | مدل WaterGAP تغییرات منابع آب ناشی از فعالیت های انسانی و تغییر اقلیم را در مقیاس جهانی شبیه سازی کرده و بر نقش عوامل انسانی در تشدید بحران های آبی تأکید دارد. |
| Oberscher et al. (2022)       | الزامات سیستم های هوشمند آبرسانی                                                                    | تحلیل سیستم های SCADA <sup>3</sup> ارتقاء یافته               | ارتقاء SCADA به سیستم های هوشمند بهره وری و تصمیم گیری در مدیریت آب را افزایش می دهد.                                                                           |
| Zhao & Boll (2022)            | سازگاری مدیریت منابع آب با تغییر اقلیم                                                              | تحلیل کیفی سیاست ها و برنامه های سازگاری                      | تغییر اقلیم نیازمند تحول در شیوه های برنامه ریزی منابع آب و تمرکز بر تاب آوری منطقه ای و تخصیص منابع مبتنی بر عدم قطعیت هاست.                                   |
| European Commission (2022)    | راهبردهای توسعه پایدار شهرهای هوشمند                                                                | تحلیل سیاست های اتحادیه اروپا                                 | فناوری های پایدار عامل کلیدی در ارتقاء کیفیت زندگی شهری و حفاظت از منابع آبی هستند.                                                                             |
| El Hanjri et al. (2023)       | یادگیری فدراسیون برای پیش بینی مصرف آب در شهرهای هوشمند                                             | مدل یادگیری فدراسیون                                          | پیش بینی دقیق تر مصرف آب شهری با حفظ حریم خصوصی داده ها.                                                                                                        |
| Elgendy et al. (2024)         | مروری بر راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب                                        | مرور تطبیقی مطالعات موردی                                     | توسعه راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم شامل ارتقاء فناوری های پایش، مشارکت ذی نفعان و اعمال سیاست های انعطاف پذیر، الزامی است.                                  |

<sup>1</sup> Artificial Intelligence<sup>2</sup> Representative Concentration Pathway<sup>3</sup> Supervisory Control and Data Acquisition

| ادامه جدول ۱           |                                                                  |                                                                                   |                                                                             |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Kalhari et al. (2025)  | تحلیل و پایش منابع آب با تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: همدان) | تحلیل سنجش‌ازدور <sup>۱</sup> (GRACE)، Landsat <sup>۳</sup> 8، MODIS <sup>۲</sup> | کاهش قابل توجه منابع آب زیرزمینی و افزایش شدت خشکسالی طی سال‌های اخیر.      |
| Bharathi et al. (2025) | کارایی سیستم‌های آبیاری هوشمند در مناطق خشک                      | تحلیل میدانی و داده‌کاوی                                                          | سیستم‌های آبیاری هوشمند در کاهش مصرف آب در مناطق خشک بسیار مؤثر عمل می‌کند. |

مرور این مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه دستاوردهای ارزشمندی در سطح جهانی و ملی ارائه شده است، اما هنوز چارچوبی جامع و بومی برای شرایط اقلیمی و نهادهای شهرهای نیمه‌خشک ایران تدوین نشده است؛ خلأی که پژوهش حاضر درصدد پر کردن آن است. بطور کلی تحلیل مطالعات گذشته نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در سه محور اصلی انجام شده است: ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت منابع آب، و الگوهای حکمرانی و توسعه شهر هوشمند. این مطالعات مفاهیمی چون حکمرانی داده‌محور، مشارکت شهروندی، عدالت فضایی و پایداری اجتماعی را در پیوند با زیرساخت‌های فناورانه مورد توجه قرار داده‌اند. با وجود ارزش علمی این تحقیقات، مرور پیشینه نشان می‌دهد که تاکنون مدلی جامع، عملیاتی و بومی‌سازی‌شده که هم‌زمان ابعاد نهادی، اجتماعی، فناورانه و اقلیمی را در برگیرد، تدوین نشده است.

#### ۱-۲- ضرورت و هدف تحقیق

با توجه به نبود چنین چارچوب تلفیقی، این پژوهش با تمرکز بر شهر همدان (به‌عنوان یکی از شهرهای ایران که در معرض تنش آبی قرار دارد) تلاش می‌کند تا با ادغام رویکردهای پیشین، خلأ موجود را پر کند و الگویی نوین برای مدیریت منابع آب در شرایط اقلیمی و شهری خاص ارائه دهد. هدف اصلی این مطالعه، طراحی و تبیین یک مکانیسم اجرایی بومی برای پیاده‌سازی مدیریت هوشمند منابع آب در بستر شهرهای دارای پتانسیل هوشمندسازی، با تمرکز بر شهر همدان به‌عنوان نمونه موردی است. این پژوهش با شناسایی و تحلیل ابعاد کلیدی شهر هوشمند و شاخص‌های مؤثر بر مدیریت منابع آب، الگویی مفهومی و کاربردی ارائه می‌دهد که به‌طور هم‌زمان ارتقاء کارایی سیستم‌های آبی، تحقق عدالت فضایی، توسعه مشارکت فناورانه شهروندی و پایداری زیست‌محیطی را دنبال می‌کند. سؤال اصلی پژوهش عبارت است از: کدام شاخص‌های شهر هوشمند بیشترین تأثیر را بر مدیریت منابع آب دارند و شاخص‌های مدیریت هوشمند منابع آب کدام‌اند و چگونه می‌توان الگوی مناسبی برای پیاده‌سازی در شهر همدان ارائه داد.

#### ۱-۳- مبانی نظری

با پیچیده‌تر شدن چالش‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه بحران آب، نیاز به بازنگری در رویکردهای مدیریتی آشکارتر شده است. تغییر اقلیم به‌عنوان عامل فشار بر منابع آب، ناکارآمدی مدیریت سنتی را نمایان کرده و ضرورت توسعه رویکردهای هوشمند را تقویت کرده است. بحران جهانی منابع آب ناشی از تغییر اقلیم، مصرف بی‌رویه و ضعف ساختارها، گذار به الگوهای داده‌محور را ضروری ساخته است (Elgendy et al., 2024; Ciampittiello et al., 2024). مدل‌هایی مانند Integrated Water Resources Management (IWRM) و Digital Water Governance با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر SCADA، IoT، GIS<sup>۴</sup>، DSS<sup>۵</sup> و مدل‌های اقلیمی چون CMIP<sup>۶</sup>، در بهینه‌سازی مصرف و افزایش تاب‌آوری شهری

<sup>۱</sup> Gravity Recovery and Climate Experiment

<sup>۲</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>۳</sup> Land Satellite

<sup>۴</sup> Geographic Information System

<sup>۵</sup> Decision Support System

<sup>۶</sup> Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

مؤثر هستند (Washburn et al., 2010; Döll et al., 2018). مفهوم «شهر هوشمند» نیز فراتر از تجهیز به فناوری، شامل هم‌افزایی زیرساخت هوشمند، مشارکت شهروندی و شفافیت نهادی است (Tahir et al., 2016) و هسته آن «تولید و استفاده از داده با مشارکت شهروندان» دانسته می‌شود (Anthopoulos, 2017). در مدیریت آب، این مفاهیم در قالب حسگرهای بلادرنگ، پلتفرم‌های مشارکتی و مدل‌سازی فضایی عملیاتی می‌شوند. مبانی نظری این پژوهش بر ترکیب «حکمرانی هوشمند منابع آب» و «چارچوب داده‌محور شهر هوشمند» استوار است که با شاخص‌هایی چون سنجش مکانی-زمانی، پایش بلادرنگ، مشارکت فناورانه، عدالت فضایی، تاب‌آوری اقلیمی و یکپارچگی نهادی، مدل مفهومی بومی‌شده‌ای برای همدان ارائه می‌دهد.

### ۱-۳-۱- تغییر اقلیم

تغییر اقلیم از چالش‌های مهم دهه‌های اخیر است که بر منابع آب سطحی و زیرزمینی اثرات مستقیم دارد. افزایش دما، کاهش بارش و تغییر الگوی رولاب، امنیت منابع آبی را تهدید می‌کنند (Ciampittiello et al., 2024; Zhao & Boll 2022). همچنین فشار بر زیرساخت‌ها و خدمات زیست‌محیطی را افزایش می‌دهند (Elgendy et al., 2024). مدل‌هایی مانند WaterGAP نشان می‌دهند که سناریوهای اقلیمی روی جریان رودخانه‌ها و منابع تجدیدپذیر تأثیر دارند (Döll et al., 2018). در ایران، تغییر اقلیم باعث کاهش منابع، افت سطح آب زیرزمینی و ناپایداری حوضه‌ها شده است (Abbas- Novinpour et al., 2021; Souri Nejad, 2020) در کنار این، ضعف نهادی، نبود رویکرد کل‌نگر و سیاست‌های ناکارآمد از عوامل تشدید بحران هستند (Eslami & Rahimi, 2019). برای مقابله با این شرایط، استفاده از فناوری‌های پایش بلادرنگ، سنجش از دور، ذخیره‌سازی هوشمند و حکمرانی داده‌محور پیشنهاد می‌شود (Elgendy et al., 2024; Karami, 2020). در همدان، داده‌های بلندمدت نشان می‌دهد که طی چهار دهه اخیر دمای میانگین سالانه و شاخص‌های دمای بیشینه و کمینه روند افزایشی داشته‌اند (Maroufi et al., 2010) و پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش بیشتر دما و تغییرات فصلی بارش در بازه ۲۰۴۶-۲۰۶۵ هستند (Asadi et al., 2019). همچنین سهم پوشش برف زمستانی از حدود ۲۰٪ در دهه ۱۳۸۰ به ۷٪ در دهه ۱۴۰۰ کاهش یافته است که بیانگر گرمایش زمستان و تغییر رژیم بارش است (Maryanji et al., 2023). کاهش بارش‌های زمستان و بهار، افزایش بارش پاییزی، طولانی‌تر شدن فصل رشد و کاهش روزهای یخبندان نیز گزارش شده است (Afruzi et al., 2022).

### ۱-۳-۲- شهر هوشمند

شهر هوشمند مفهومی جدید در مدیریت شهری است که با استفاده از فناوری‌های نوین، به بهینه‌سازی منابع، ارتقاء کیفیت خدمات و بهبود زندگی شهروندان کمک می‌کند. این شهر با مدیریت یکپارچه زیرساخت‌های فیزیکی، اجتماعی و فناورانه، به دنبال افزایش پایداری و کارایی است (Washburn et al., 2010). شهر هوشمند بر شش مؤلفه اصلی: اقتصاد هوشمند، مردم هوشمند، زندگی هوشمند، محیط‌زیست هوشمند، حکمرانی هوشمند و تحرک هوشمند استوار است (Pour Ahmad et al., 2018). در این شهر، حسگرهای بلادرنگ اطلاعاتی مانند کیفیت هوا و ترافیک را جمع‌آوری می‌کنند تا تصمیم‌گیری مدیران شهری دقیق‌تر شود (Tahir et al., 2016; Anthopoulos, 2017). مشارکت فعال شهروندان در سیاست‌گذاری و خدمات، از ارکان اصلی موفقیت این الگو است (Stankovic, 2017). در ایران نیز برنامه‌هایی برای تحقق شهر هوشمند با تکیه بر فناوری‌های NBIC و پلتفرم‌های مشارکتی تدوین شده‌اند (Islamic Parliament Research Center, 2016).

## ۱-۳-۳- مدیریت منابع آب

مدیریت منابع آب به معنای برنامه‌ریزی، توسعه و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی برای تأمین نیازهای انسانی، کشاورزی، صنعتی و حفظ محیط‌زیست است. ایران با اقلیم خشک و بارندگی پایین، از نظر آبی تحت فشار است و مصرف سرانه آن نیز از میانگین جهانی بالاتر است (Elmi et al, 2024). در این شرایط، الگوهایی مانند IWRM که بر مشارکت ذی‌نفعان و هماهنگی بین‌بخشی تأکید دارند، پیشنهاد می‌شوند. همچنین، استفاده از GIS، مدل‌سازی منابع و DSS ها می‌تواند مدیریت را کارآمدتر کند (Motalabi & Hagh Bayan, 2023). برای دستیابی به پایداری در منابع آب، هماهنگی سیاست‌گذاران، مدیران و جامعه ضروری است (Elmi et al., 2024). بررسی وضعیت منابع آبی استان همدان نشان می‌دهد که طی سال‌های اخیر، کاهش بارندگی و رواناب به میزان حدود ۴۴ درصد، افت متوسط دو متر در سطح آب‌های زیرزمینی، و کسری سالانه ۲۲۴ میلیون مترمکعب از سفره‌های آب زیرزمینی، فشار مضاعفی بر تعادل آبی منطقه وارد کرده است. داده‌های پایش ماهواره‌ای نیز کاهش تراز آب زیرزمینی بین ۲۹ تا ۳۵ سانتی‌متر و متوسط رواناب ۰/۵۱۲ مترمکعب بر ثانیه در دشت همدان را تأیید می‌کند. این شرایط بیانگر ضرورت اتخاذ رویکردهای نوین و پایدار در مدیریت منابع آب و ارتقاء بهره‌وری در بخش‌های مختلف مصرف است (جدول ۲).

جدول ۲- شاخص‌های کلیدی بیلان آب استان همدان (منبع: نگارندگان)

Table 2. Key water balance indicators for Hamadan province (Source: The Authors)

| مؤلفه                    | تخمین/مقدار                                     | توضیحات                                         |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| کاهش بارندگی و رواناب    | ۴۴٪↓                                            | کاهش واردات از منابع سطحی (IRIB News, 2023)     |
| افت سطح آب زیرزمینی      | -۲ متر سالانه                                   | بیانگر کاهش ذخایر زیرزمینی (IRNA, 2024)         |
| کسری منبع زیرزمینی       | -۲۲۴ میلیون مترمکعب در سال                      | سهم مصرف از منابع زیرزمینی (HRWC, 2025)         |
| رواناب دشت همدان (ورودی) | ۰.۵۱۲ مترمکعب/ثانیه (~۱۶.۱۵ میلیون مترمکعب/ماه) | براساس سنجش ماهواره‌ای (WRCC.QOM, 2022)         |
| تغییرات تراز آب زیرزمینی | -۲۹ تا -۳۵ سانتیمتر                             | کاهش ذخایر در بازه مورد مطالعه (WRCC.QOM, 2022) |

برای مواجهه با این چالش‌ها، رویکردهای نوینی همچون مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) پیشنهاد شده‌اند که بر هماهنگی بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده و مشارکت ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری متمرکز هستند. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌های شبیه‌سازی و ابزارهای تصمیم‌یار، به بهبود کارایی مدیریت منابع آب کمک می‌کند (Motalabi & Hagh-Bayan, 2023). مطالعات پیشین، مؤلفه‌های کلیدی مدیریت پایدار منابع آب را شامل حکمرانی خوب آب (Ghoochianian & Fashae, 2022)، مشارکت محلی و دانش بومی (Khatami et al., 2022)، کیفیت منابع آب (Mortezavi et al., 2011)، وضعیت کمی آب زیرزمینی (Mortezavi et al., 2011)، انسجام نهادی (Khatami et al., 2022)، عوامل فیزیکی- بیولوژیکی (Rezapor et al., 2021)، همزمانی منابع و نیاز (Mahdinejad et al., 2008)، و شاخص‌های پایداری منابع آب (Karamooz et al., 2006) معرفی کرده‌اند.

با توجه به پیچیدگی‌های چندلایه مدیریت منابع آب در شرایط اقلیمی ناپایدار، ضعف ساختارهای سنتی تصمیم‌گیری، و لزوم گذار به حکمرانی فناورمحور، ترکیب رویکردهای نوین مبتنی بر داده، مشارکت‌پذیری و فناوری‌های هوشمند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در مدیریت شهری و زیست‌محیطی محسوب می‌شود. چارچوب‌های تلفیقی همچون حکمرانی هوشمند منابع آب و شهر هوشمند داده‌محور می‌توانند مسیر طراحی سازوکارهایی نوین را برای تخصیص بهینه، پایش بلادرنگ و تحقق عدالت فضایی در منابع آبی هموار کنند. بر همین اساس، این پژوهش مدلی مفهومی را در قالب شاخص‌های کلیدی و قابل

سنجش برای پاسخگویی به چالش‌های موجود ارائه می‌کند (شکل ۱).

شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش (منبع: نگارندگان)

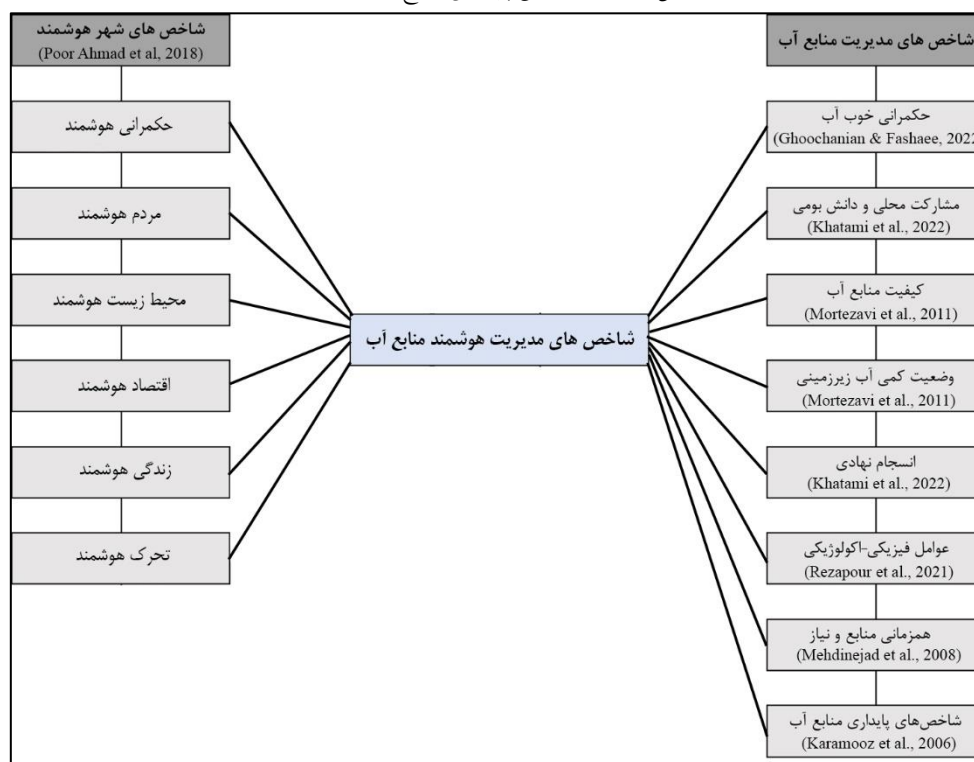


Fig. 1 Conceptual model of the research (Source: The Authors)

## ۲- مواد و روش‌ها

شهر همدان مرکز استان و پر جمعیت‌ترین شهر استان همدان است. استان همدان در غرب ایران با وسعت ۴۹۳/۱۹ کیلومترمربع، اقلیم نیمه‌خشک و بارندگی سالانه حدود ۳۳۰ میلی‌متر، یکی از مناطق دارای تنش آبی است (Iran Meteorological Organization, 2023). منابع آبی استان شامل رودخانه‌های گاماسیاب، قره‌چای، سیمینه‌رود، خاکو، فرجین، دره‌مرادیگ و عباس‌آباد است که اغلب فصلی و کوهستانی‌اند. سد اکباتان که روی رودخانه یلغان احداث شده، منبع اصلی آب شرب شهر است و حدود ۵۵ تا ۶۴ درصد ظرفیتش فعال است (IRNA, 2024). سدهای کلان، خرم‌رود و گرین نیز در تأمین آب کشاورزی و صنعت نقش دارند. آب زیرزمینی هم بیش از ۸۸٪ نیاز آبی استان را تأمین می‌کند، ولی دشت‌هایی مثل همدان-بهار، کبودرآهنگ و رزن کاهش سطحی تا ۱/۵ متر در سال را تجربه کرده‌اند (IRNA, 2024). در پایین‌دست سد اکباتان، سدی خارج از بستر به نام سد آبشینه احداث شده است که این سد نیز به‌منظور تأمین آب شرب شهر همدان مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی دیگر از منابع سطحی تأمین آب شرب شهر، رودخانه عباس‌آباد است؛ اما به دلیل وجود حق‌آبه باغداران واقع در بالادست این رودخانه، تنها در شش ماهه دوم سال می‌توان از آن برای تأمین آب شرب استفاده کرد. بر اساس آمارهای ارائه‌شده از سوی شرکت آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای استان، حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد از آب مورد نیاز شرب شهر همدان از منابع سطحی (شامل سدهای اکباتان، آبشینه و منابع بهنگام) تأمین می‌شود و مابقی آن از منابع زیرزمینی برداشت می‌گردد. به‌طور کلی، نیاز سالانه آبی شهر همدان در حدود ۴۹ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود (Fatemi et al., 2016).

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، به‌صورت ترکیبی (کیفی-کمی) و با رویکرد توصیفی-تحلیلی انجام شده است. جامعه آماری بخش کیفی شامل ۱۵ نفر از خبرگان حوزه مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی شهری و فناوری‌های هوشمند بود که به روش نمونه‌گیری هدفمند (Purposeful Sampling) انتخاب شدند. در بخش کمی، داده‌ها از طریق

پرسشنامه‌های ساختاریافته و نیمه‌ساختاریافته گردآوری شد که در دو مرحله دلفی اجرا گردید. در مرحله اول دلفی، شاخص‌های استخراج‌شده از مرور ادبیات و مطالعات پیشین به خبرگان ارائه و نظرات آن‌ها دریافت شد. در مرحله دوم، پس از بازنگری شاخص‌ها، نسخه نهایی پرسشنامه جهت امتیازدهی به اهمیت و اثرگذاری هر شاخص بین خبرگان توزیع شد و بدین ترتیب امکان بازنگری و اصلاح نظرات اولیه فراهم گردید. این فرایند با هدف دستیابی به اجماع تخصصی و آشکارسازی روابط میان شاخص‌ها و میزان تأثیرگذاری آن‌ها از منظر کمی به کار گرفته شد. برای تعیین حجم نمونه بخش کمی، از فرمول کوکران استفاده شد که در نهایت ۳۸ پرسشنامه معتبر جمع‌آوری و تحلیل گردید. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای (SPSS برای آمار توصیفی و آزمون‌های آماری)، ArcGIS (برای تحلیل‌های مکانی و خوشه‌بندی داده‌ها)، و Excel (برای دسته‌بندی و ترسیم نمودارها) انجام شد. در مرحله تحلیل، از تحلیل خوشه‌ای برای گروه‌بندی مشاهدات به خوشه‌های متمایز و نسبتاً ناهمگن و از روش Jenks Natural Breaks به عنوان یکی از ابزارهای بهینه‌سازی طبقه‌بندی طبیعی در ArcGIS استفاده گردید؛ روشی که با هدف کاهش واریانس درون‌گروهی و افزایش تمایز بین خوشه‌ها، امکان شناسایی دقیق‌ترین طبقه‌بندی ارزش‌ها را فراهم می‌سازد. نتایج امتیازدهی شاخص‌ها بر اساس میانگین وزنی محاسبه شد تا سطوح اثرگذاری ابعاد شهر هوشمند بر شاخص‌های مدیریت منابع آب مشخص شود. در نهایت، با تمرکز بر شاخص‌های همپوشان و اتکا بر تحلیل مضمون محورهای مفهومی، مدلی مفهومی ترکیبی طراحی شد که به عنوان الگوی پیشنهادی برای سیاست‌گذاری فناورانه در حکمرانی منابع آب در بستر شهر همدان قابل بهره‌برداری است. مدل نهایی مبتنی بر تعامل سازه‌هایی چون حکمرانی دیجیتال، مشارکت فناورانه، پایش هوشمند، یکپارچگی نهادی و پایداری زیست‌محیطی بوده و روابط علی، منطقی سلسله‌مراتبی و پیوستارهای میان‌رشته‌ای فناوری، مدیریت آب و شهرسازی در ساختار آن لحاظ شده است.

### ۳- نتایج و بحث

بر اساس مبانی نظری و ادبیات موجود، شهر هوشمند بر شش شاخص اصلی استوار است که عبارت‌اند از: حکمرانی هوشمند، مردم هوشمند، محیط زیست هوشمند، اقتصاد هوشمند، زندگی هوشمند و تحرک هوشمند. و مؤلفه‌های مدیریت منابع آب شامل حکمرانی خوب آب، مشارکت محلی و دانش بومی، کیفیت منابع آب، وضعیت کمی آب زیرزمینی، انسجام نهادی، عوامل فیزیکی-بیولوژیکی، همزمانی منابع و نیاز و شاخص‌های پایداری منابع آب است. بر اساس تحلیل داده‌های حاصل از پاسخ‌های ۱۵ کارشناس خبره حوزه آب و برنامه‌ریزی شهری و جامعه آماری در چارچوب روش دلفی، امتیازدهی به ارتباط بین ابعاد شش‌گانه شهر هوشمند و هشت شاخص کلیدی مدیریت منابع آب طبق جدول (۳) انجام شد. برای تعیین سطح اثرگذاری هر یک از ابعاد شهر هوشمند بر شاخص‌های کلیدی مدیریت منابع آب، از روش طبقه‌بندی طبیعی جینکس (Jenks Natural Breaks) استفاده شد. این روش به گونه‌ای عمل می‌کند که با حداقل کردن واریانس درون‌گروهی و حداکثرسازی واریانس بین گروه‌ها، به بهینه‌ترین تقسیم‌بندی ممکن در میان داده‌های عددی دست می‌یابد.

در این پژوهش، ابتدا میانگین امتیازات هر بعد شهر هوشمند در ارتباط با هشت شاخص مدیریت منابع آب محاسبه شد که نتایج نشان می‌دهد که در میان ابعاد شهر هوشمند، محیط زیست هوشمند، حکمرانی هوشمند و اقتصاد هوشمند بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های مدیریت منابع آب داشته‌اند در حالی که تحرک هوشمند کمترین تأثیر را داشته است. سپس این مقادیر با استفاده از الگوریتم جنکس به پنج طبقه معنادار تقسیم شدند. بر این اساس، ابعاد دارای میانگین اثرگذاری از ۴ تا ۵ در طبقه‌ی خیلی زیاد، میانگین‌های بین ۳ تا ۴ در طبقه زیاد، بازه‌ی ۲ تا ۳ در طبقه متوسط، مقادیر بین ۱ تا ۲ در طبقه کم، و در نهایت میانگین‌های کمتر از ۱ در طبقه بی‌تأثیر یا ضعیف قرار گرفتند. در طبقه‌بندی نهایی، هماهنگی شاخص‌هایی از شهر هوشمند و مدیریت منابع آب که در ارتباط باهم بین طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار داشتند انتخاب گردید:

۱- شاخص‌های حکمرانی خوب آب و حکمرانی هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۴ بود در طبقه خیلی زیاد.

- ۲- شاخص‌های مشارکت محلی و دانش بومی و مردم هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۵ بالاترین امتیاز و در طبقه خیلی زیاد
- ۳- شاخص‌های کیفیت منابع آب و محیط‌زیست هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۳ و در طبقه خیلی زیاد
- ۴- شاخص‌های وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی و محیط‌زیست هوشمند با میانگین اثرگذاری ۳/۸ و طبقه زیاد
- ۵- شاخص‌های انسجام نهادی و حکمرانی هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۱ و طبقه زیاد
- ۶- شاخص‌های عوامل فیزیکی-اکولوژیکی و محیط‌زیست هوشمند با میانگین اثرگذاری ۳/۷ و طبقه زیاد
- ۷- شاخص‌های همزمانی منابع و نیاز و اقتصاد هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۲ و طبقه خیلی زیاد
- ۸- شاخص‌های پایداری منابع آب و زندگی هوشمند با میانگین اثرگذاری ۴/۱ و طبقه خیلی زیاد
- شکل (۲)، میانگین اثرگذاری شاخص‌های مدل مفهومی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میانگین نمره اثرگذاری بین ابعاد شهر هوشمند و شاخص‌های مدیریت منابع آب (منبع: نگارندگان)

Table 3. Average score of the impact between smart city dimensions and water resource management indicators (Source: The Authors)

| شاخص             | حکمرانی خوب آب | انسجام نهادی | مشارکت محلی و دانش بومی | کیفیت منابع آب | وضعیت کمی منابع زیرزمینی | عوامل فیزیکی-اکولوژیکی | همزمانی منابع و نیاز | پایداری منابع آب |
|------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| حکمرانی هوشمند   | ۴/۴            | ۴/۱          | ۲/۶                     | ۲/۳            | ۲/۵                      | ۲/۴                    | ۲/۲                  | ۲/۳              |
| مردم هوشمند      | ۲/۱            | ۲/۲          | ۴/۵                     | ۲/۵            | ۲/۶                      | ۲/۴                    | ۲/۳                  | ۲/۲              |
| محیط زیست هوشمند | ۲/۵            | ۲/۳          | ۲/۱                     | ۴/۳            | ۳/۸                      | ۳/۷                    | ۲/۴                  | ۲/۵              |
| اقتصاد هوشمند    | ۲/۲            | ۲/۴          | ۲/۲                     | ۲/۳            | ۲/۵                      | ۲/۲                    | ۴/۲                  | ۲/۳              |
| زندگی هوشمند     | ۲/۳            | ۲/۱          | ۲/۰                     | ۲/۳            | ۲/۴                      | ۲/۳                    | ۲/۴                  | ۴/۱              |
| تحرک هوشمند      | ۱/۹            | ۲/۰          | ۲/۱                     | ۲/۲            | ۲/۰                      | ۲/۱                    | ۲/۱                  | ۲/۲              |

شکل ۲- میانگین اثرگذاری شاخص‌های مدل مفهومی (منبع: نگارندگان)

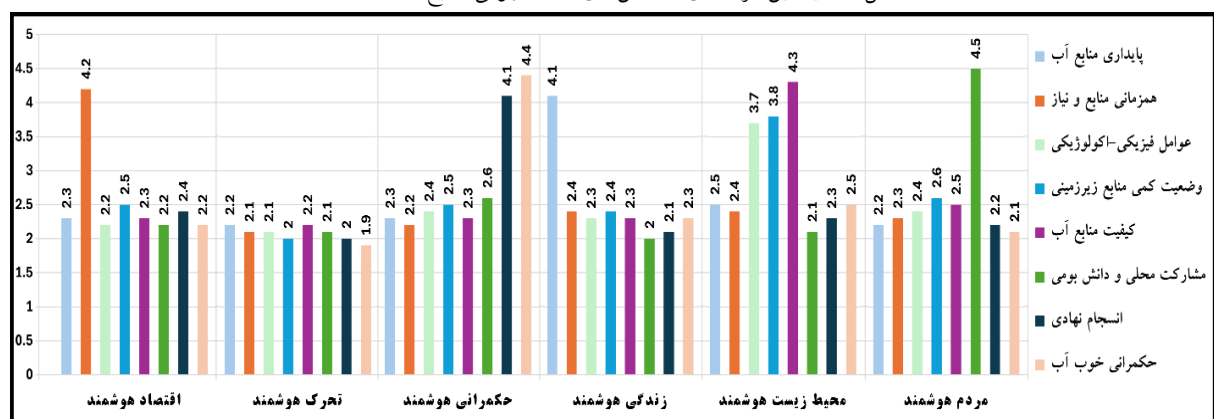


Fig. 2 Average impact of conceptual model indicators (Source: The Authors)

سپس با تمرکز بر تعامل میان این شاخص‌ها و ابعاد مختلف مدیریت منابع آب، تنها آن دسته از شاخص‌های شهر هوشمند که دارای بیشترین ارتباط مفهومی، کارکردی و ساختاری با مؤلفه‌های مدیریت منابع آب هستند، در مدل مفهومی لحاظ شده‌اند. به

بیان دیگر، هرچند تمامی شاخص‌های شهر هوشمند به طور بالقوه می‌توانند در مدیریت منابع آب مؤثر باشند، اما مدل مفهومی پژوهش بر پایه شاخص‌های طراحی شده است که از منظر مفهومی همپوشانی و پیوندهای قویتری با ابعاد حکمرانی، بهره‌برداری، پایش و پایداری منابع آب در بستر شهری دارند. این ارتباطات در شکل (۳) ترسیم و تبیین شده است.

شکل ۳- تبیین شاخص‌های مدیریت هوشمند منابع آب (منبع: نگارندگان)



Fig 3. Explanation of smart water resources management indicators (Source: The Authors)

با توجه به شاخص‌های تلفیقی استخراج شده در مدل مفهومی پژوهش (شکل ۳)، که حاصل پیوند مفهومی میان مؤلفه‌های مدیریت منابع آب و ابعاد شهر هوشمند هستند، شناسایی و تدوین راهکارهای تخصصی برای عملیاتی‌سازی این شاخص‌ها در بستر شهرهای هوشمند از اهمیت بالایی برخوردار است. این شاخص‌ها، که در سطح میانی مدل قرار گرفته‌اند و با رنگ آبی متمایز شده‌اند، نقاط تلاقی دو حوزه مفهومی کلیدی را بازنمایی می‌کنند: از یکسو الزامات نوین مدیریت منابع آب، و از سوی دیگر ظرفیت‌های فناوریانه، اجتماعی و نهادی شهر هوشمند. بر این اساس، در این بخش، برای هر یک از شاخص‌های مذکور، راهبردهایی تخصصی و مبتنی بر فناوری، برنامه‌ریزی فضایی، حکمرانی مشارکتی و نوآوری دیجیتال ارائه می‌گردد. این راهکارها بر پایه تلفیق رویکردهای داده‌محور، مشارکت محور و پایداری محور طراحی شده و می‌توانند مبنای اقدامات اجرایی برای سیاست‌گذاران، مدیران شهری و طراحان نظام مدیریت آب در کلان شهرهای هوشمند قرار گیرند. مدل مفهومی ارائه‌شده در شکل (۳) به‌منظور ترسیم ساختار نظام‌مند مدیریت منابع آب در بستر شهر هوشمند طراحی شده است. این مدل، با رویکردی سیستمی و تلفیقی، به شناسایی و تبیین هشت شاخص کلیدی پرداخته است که به‌عنوان ستون‌های اصلی حکمرانی هوشمند منابع آب عمل می‌کنند. شاخص‌هایی نظیر حکمرانی دیجیتال، مشارکت فناوریانه مردمی، پایش بلادرنگ کیفی و کمی،

یکپارچه‌سازی داده‌ها، تاب‌آوری اقلیمی، تطبیق مکانی منابع و مصارف، و عدالت آبی، در این ساختار مفهومی به‌صورت لایه‌های به‌هم‌پیوسته تعریف شده‌اند که هم‌زمان جنبه‌های فناورانه، نهادی، زیست‌محیطی و اجتماعی سیستم را دربرمی‌گیرند. برای عبور از سطح نظری این مدل به سطح اجرایی، فرآیندی چندمرحله‌ای طراحی شد که منجر به تدوین راهبردهای عملیاتی در جدول (۴) گردید. در گام نخست، هریک از شاخص‌های کلان مدل، به مؤلفه‌های زیرسیستمی و عملیاتی تفکیک شدند. این تفکیک با استفاده از تحلیل مضمون، مرور تجارب بین‌المللی، و بررسی مستندات تخصصی در حوزه مدیریت شهری، آب و فناوری‌های نوین انجام گرفت. در ادامه، با در نظر گرفتن وضعیت نهادی، زیرساختی، اقلیمی و اجتماعی شهر همدان، راهکارهای پیشنهادی هر شاخص مورد بازنگری و بومی‌سازی قرار گرفت. این بومی‌سازی بر پایه اطلاعات میدانی، ظرفیت‌های موجود شهری، و تحلیل تطبیقی با پروژه‌های موفق جهانی مانند Smart Water Grid کره جنوبی و طرح‌های شهرهای هوشمند اروپا صورت گرفت. ابزارهای مورد استفاده در این مرحله شامل سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، تحلیل داده‌های شبکه توزیع، پایگاه‌های داده مکانی، و الگوریتم‌های یادگیری ماشین بود. در نهایت، راهکارهای استخراج‌شده در جدول (۳) در قالب ساختار «شاخص مفهومی - راهبرد اجرایی تخصصی» تنظیم شده‌اند. این جدول دربردارنده پیشنهادهایی با قابلیت پیاده‌سازی در سطوح مختلف تصمیم‌گیری و مدیریتی بوده و به‌منظور تسهیل در اجرا، هریک از راهبردها از منظر فنی، نهادی و داده‌محور مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. به بیان دیگر، جدول (۴) ترجمان عینی مدل مفهومی شکل (۲) است؛ مدلی که با رویکردی داده‌بنیان و هم‌راستا با الزامات اقلیم خشک و نیمه‌خشک همدان طراحی شده و می‌تواند به‌عنوان نقشه‌راهی بومی برای توسعه پایدار آبی شهر عمل کند.

جدول ۴- راهبردها و پیشنهادهای تخصصی برای شهر همدان (منبع: نگارندگان)

Table 4: Strategies and specialized recommendations for Hamadan city (Source: The Authors)

| شاخص                                  | راهبردها و پیشنهادهای تخصصی برای شهر همدان                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | منبای استخراج از نتایج                                                                                                                       |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| حکمرانی دیجیتال<br>منابع آب           | - طراحی و استقرار سامانه یکپارچه مدیریت منابع آب همدان (HWRMS <sup>1</sup> ) مبتنی بر معماری Microservices جهت تجمیع داده‌های بلادرنگ از منابع سطحی و زیرزمینی                                                                                                                                                                                     | میانگین اثرگذاری ۴/۴ در بعد حکمرانی<br>خوب آب و حکمرانی هوشمند<br>- طبقه خیلی زیاد در خوشه‌بندی جنکس                                         |
|                                       | - پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین جهت ثبت و تبادل مجوزهای برداشت آب بین ذی‌نفعان با تأکید بر شفافیت و قابلیت ردیابی قانونی<br>- تدوین پروتکل تعامل سازمانی میان شهرداری، شرکت آب، جهاد کشاورزی و منابع طبیعی برای هم‌افزایی در تصمیم‌سازی داده‌محور                                                                                                     |                                                                                                                                              |
| مشارکت فناورانه و<br>سواد آبی شهروندی | - توسعه پلتفرم مشارکتی "هم‌آب" با قابلیت داشبوردهای تعاملی جهت گزارش‌گیری مردمی از نشت، آلودگی، یا هدررفت<br>- آموزش عمومی مفاهیم "آب مجازی" و "مصرف غیرمستقیم" از طریق AR <sup>2</sup> و بازی‌های تعاملی در مدارس و فرهنگسراها<br>- تخصیص اعتبار تشویقی برای خانواده‌ها یا کسب‌وکارهایی که در کاهش مصرف آب بر اساس الگوی هوشمند رتبه بالایی دارند | میانگین اثرگذاری ۴/۵ در بعد مشارکت<br>محلی و دانش بومی و مردم هوشمند<br>- بیشترین امتیاز در شاخص مشارکت محلی و دانش بومی<br>- طبقه خیلی زیاد |
| پایش کیفی<br>هوشمند منابع آب          | - نصب حسگرهای چندپارامتری PH، نیترات، دما، کدورت در ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌ها<br>- اتصال بلادرنگ حسگرها به SCADA مرکزی در شرکت آب و فاضلاب همدان<br>- استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های ناهنجار                                                                                                                          | میانگین اثرگذاری ۴/۳ در بعد کیفیت منابع<br>آب و محیط زیست هوشمند<br>- طبقه خیلی زیاد                                                         |

<sup>1</sup> Hamadan Water Resources Management System

<sup>2</sup> Augmented Reality

| ادامه جدول ۴              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                         |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| پایش کمی بلادرنگ          | - نصب کتورهای NB-IoT <sup>1</sup> در واحدهای صنعتی و مجتمع‌های مسکونی<br>- طراحی مدل GIS برای تحلیل مکانی نشت‌ها و پرت شبکه توزیع<br>- ترکیب داده‌های کتورها با بارش‌سنج‌های آنلاین برای برآورد میزان برداشت واقعی زیرزمینی                                                                                                                                                                              | میانگین اثرگذاری ۳/۸ در شاخص وضعیت کمی منابع زیرزمینی و محیط زیست هوشمند - طبقه زیاد                    |
| مدیریت داده‌محور یکپارچه  | - طراحی پایگاه داده مکانی (GeoDatabase) از منابع و مصارف آب در مقیاس ناحیه و محله<br>- پیاده‌سازی API <sup>2</sup> بین GIS، SCADA و سامانه پیش‌بینی بارش<br>- استقرار پلتفرم تحلیل سناریو DSS برای سنجش پایداری تخصیص آب در زمان بحران                                                                                                                                                                   | میانگین اثرگذاری ۴/۱ در بعد انسجام نهادی و حکمرانی هوشمند - طبقه خیلی زیاد                              |
| تاب‌آوری اقلیمی و زیستی   | - تدوین مدل اقلیم‌پایه CMIP6-RCM <sup>3</sup> برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر تغذیه آبخوان‌های همدان تا سال ۲۰۵۰<br>- طراحی زیرساخت پایش لحظه‌ای جریان در قنوات و رودخانه‌های فصلی با قابلیت هشدار سریع در شرایط بارندگی شدید<br>- طراحی و اجرای سیستم چندلایه امنیت سایبری برای حفاظت از داده‌ها و زیرساخت‌های حیاتی آبی (شامل تشخیص نفوذ، رمزنگاری <sup>4</sup> AES، و احراز هویت چندعاملی) | داده‌های اقلیمی و تحلیل میانگین اثرگذاری ۳/۷ در شاخص عوامل فیزیکی - اکولوژیکی و محیط زیست هوشمند - زیاد |
| تطبیق مکانی منابع و مصارف | - ایجاد مدل تطبیق مکانی منابع (چاه، قنات، مخزن) و مصارف (شهری، کشاورزی، صنعتی) در نرم‌افزار ArcGIS Pro با بهره‌گیری از لایه‌های LULC <sup>5</sup> و شبکه توزیع<br>- تحلیل مکانی کم‌فشاری‌ها و پهنه‌بندی مصرف با الگوریتم‌های Spatial Interpolation (Kriging, IDW <sup>6</sup> )<br>- طراحی ابزار تصمیم‌سازی مکان‌محور برای انتخاب مسیر بهینه خطوط انتقال جدید با کمترین تداخل با کاربری‌های بحرانی       | میانگین اثرگذاری ۴/۲ در شاخص همزمانی منابع و نیاز و اقتصاد هوشمند - خیلی زیاد                           |
| عدالت آبی و محرومیت فضایی | - توسعه شاخص عدالت آبی با بهره‌گیری از معیارهای چندگانه: کیفیت، قیمت پرداختی، سرانه دسترسی، و رضایت اجتماعی<br>- تحلیل تطبیقی دسترسی به منابع آب سالم در مناطق کم‌برخوردار حاشیه‌ای (مانند حصار حاج شربت، تپه پيسا) در مقایسه با مناطق مرکزی<br>- تدوین سیاست یارانه‌گذاری هوشمند و اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری برای ارتقاء زیرساخت‌ها در مناطق محروم شهری و روستایی اطراف همدان                            | کمترین میانگین اثرگذاری ۴/۱ در شاخص پایداری منابع آب و زندگی هوشمند - خیلی زیاد                         |

شکل (۳)، میانگین امتیازهای هشت شاخص مدیریت هوشمند منابع آب را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌ها، بالاترین امتیاز مربوط به «مشارکت فناورانه و سواد آبی شهروندی» با میانگین ۴/۵ و پس از آن «حکمرانی دیجیتال منابع آب» با میانگین ۴/۴ است. کمترین امتیاز نیز به «تاب‌آوری اقلیمی و زیستی» با مقدار ۳/۷ و «پایش کمی بلادرنگ» با مقدار ۳/۸ اختصاص یافته است. سایر شاخص‌ها، از جمله «پایش کیفی هوشمند منابع آب» (۴/۳)، «تطبیق مکانی منابع و مصارف» (۴/۲)، «عدالت آبی و محرومیت فضایی» (۴/۱)، و «مدیریت یکپارچه داده‌محور» (۴/۱)، در بازه‌ای بین ۴/۱ تا ۴/۳ قرار دارند. این نتایج نشان می‌دهد که حوزه‌های مرتبط با مشارکت عمومی، فناوری و دیجیتالی‌سازی عملکرد بالاتری داشته‌اند، در حالی که شاخص‌های مرتبط با تاب‌آوری اقلیمی و پایش کمی نیازمند توجه و بهبود بیشتری هستند.

<sup>1</sup> Narrowband Internet of Things

<sup>2</sup> Application Programming Interface

<sup>3</sup> Coupled Model Intercomparison Project Phase 6-Regional Climate Model

<sup>4</sup> Advanced Encryption Standard

<sup>5</sup> Land Use Land Cover

<sup>6</sup> Inverse Distance Weighting

شکل ۳- میانگین اثرگذاری هشت شاخص مدیریت هوشمند منابع آب (منبع: نگارندگان)

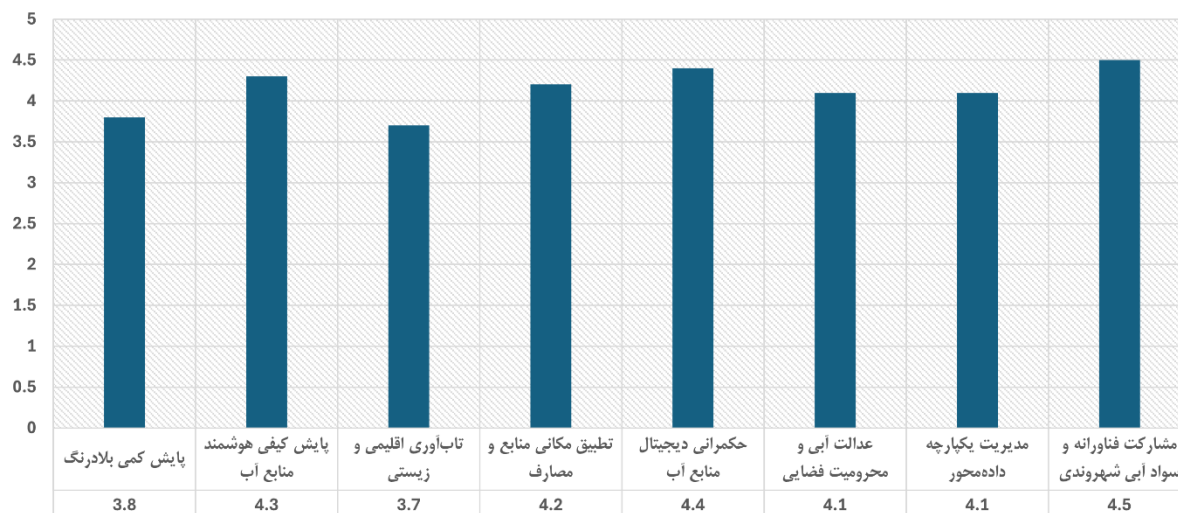


Fig 3. Average impact of the eight smart water resources management indicators (Source: The Authors)

یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که تحقق مدیریت منابع آب هوشمند در شهرهایی مانند همدان، تنها با استفاده از ابزارهای فناورانه محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند یکپارچگی نهادی، بازآفرینی حکمرانی شهری، تحلیل داده‌محور و مشارکت مؤثر ذی‌نفعان است. در مدل مفهومی طراحی‌شده، مؤلفه‌هایی مانند حکمرانی دیجیتال، مشارکت فناورانه مردمی، پایش هوشمند کیفی و کمی، و عدالت آبی به‌عنوان نقاط اتصال میان شهر هوشمند و مدیریت منابع آب معرفی شده‌اند. این مدل برخلاف نگاه سنتی بخشی‌نگر به آب، یک رویکرد سیستمی و شبکه‌محور ارائه می‌دهد که به‌جای تمرکز صرف بر زیرساخت، به جریان داده، شفافیت، تصمیم‌سازی جمعی و پاسخ‌گویی نهادی توجه دارد. بر اساس داده‌های اقلیمی پروژه CMIP6، شهر همدان تا سال ۲۰۵۰ با کاهش ۱۲ تا ۲۵ درصدی بارندگی و افزایش متوسط دمای سالانه تا ۲/۸ درجه مواجه خواهد بود. این روند مستقیماً بر منابع آب زیرزمینی و تغذیه سفره‌های همدان اثر می‌گذارد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بدون پیاده‌سازی سیستم‌های پایش و هشدار سریع، شهر در برابر بحران خشکسالی آینده بسیار آسیب‌پذیر باقی خواهد ماند. با وجود ظرفیت‌های دانشگاهی و پژوهشی بالا در شهر همدان، چالش‌های متعددی پیش روی پیاده‌سازی مدیریت هوشمند منابع آب قرار دارد. برخی از مهم‌ترین چالش‌ها عبارت‌اند از: نبود زیرساخت‌های انتقال داده پایدار مانند LoRaWAN<sup>1</sup> یا NB-Io، ضعف در پیوند نهادی میان دستگاه‌های متولی آب، شهرداری و فناوری اطلاعات، کمبود نیروی انسانی متخصص در تحلیل داده و برنامه‌ریزی بلادرنگ و ضعف فرهنگ مصرف و نبود آموزش‌های سواد آبی در مقیاس شهری.

بررسی تطبیقی یافته‌های این پژوهش با مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که نتایج حاضر در اکثر موارد با شواهد موجود همخوانی دارد و در برخی موارد نیز رویکردهای نوینی را ارائه می‌دهد که در قالب جدول (۵) بصورت مختصر بیان شده است.

یافته‌های این پژوهش با بسیاری از مطالعات مشلبه هم‌خوانی دارد و در عین حال نوآوری‌هایی نیز به همراه دارد. به‌عنوان نمونه، Jamsheedi (2021) و Fadaei-Beghaei (2019) نشان داده‌اند که به‌کارگیری سامانه‌های هوشمند و سنسورهای برخط موجب کاهش هدررفت و بهبود مدیریت فشار در شبکه‌های آب‌رسانی می‌شود؛ نتیجه‌ای که با تأکید این تحقیق بر اهمیت پایش کمی و کیفی بلادرنگ هم‌راستا است. همچنین مطالعه‌ی Jafari et al. (2021) درباره کنترل فشار هوشمند در همدان، هم‌سوئی روشنی با یافته‌های ما در زمینه حکمرانی دیجیتال و به‌کارگیری ابزارهای بلادرنگ دارد. در سطح بین‌المللی

<sup>1</sup> Long Range Wide Area Network

نیز پژوهش‌هایی مانند Bartos et al. (2017) و Turcu & Turcu (2018) بر نقش اینترنت اشیا در افزایش تاب‌آوری و کاهش نشت در شبکه‌های آبی شهری تأکید کرده‌اند. این نتایج با بخش‌هایی از مدل مفهومی ما که بر تاب‌آوری اقلیمی و محیط‌زیست هوشمند تمرکز دارد مطابقت دارد. با این حال، مدل‌های جهانی همچون WaterGAP (Döll et al., 2018; Zhao & Boll, 2022) بیشتر به شبیه‌سازی کلان‌مقیاس تغییرات اقلیمی و منابع آب پرداخته‌اند، در حالی که مطالعه‌ی حاضر این رویکردها را با داده‌های محلی و شرایط نیمه‌خشک همدان تلفیق کرده و چارچوبی بومی و عملیاتی ارائه داده است.

جدول ۵- مقایسه تطبیقی یافته‌های این پژوهش با مطالعات داخلی و خارجی (منبع: نگارندگان)

Table 5: Comparative analysis of the findings of this study with domestic and international research  
(Source: The Authors)

| منبع                                   | حوزه تمرکز                                     | یافته کلیدی مطالعه                              | ارتباط و هم‌خوانی با این پژوهش                          | وجه تمایز/نوآوری این پژوهش                                        |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Jamsheedi (2021)                       | توسعه شبکه هوشمند آب و ارتقاء SCADA            | کاهش محسوس هدررفت، بهبود مدیریت فشار و کیفیت آب | همخوانی با تأکید بر پایش کیفی و پایش کمی بلادرنگ        | بومی‌سازی پایش بلادرنگ برای شرایط نیمه‌خشک همدان                  |
| Fadaei-Beghaei (2019)                  | کاهش آب بدون درآمد با سنسورهای هوشمند          | کاهش محسوس هدررفت آب در شبکه توزیع              | منطبق با اولویت‌دهی به فناوری‌های پایش و کنترل بلادرنگ  | ترکیب سنسورهای هوشمند با داده‌های اقلیمی و تحلیل GIS              |
| Jafari et al. (2021)                   | کنترل فشار هوشمند                              | کاهش نشت و افزایش بهره‌وری شبکه                 | هم‌راستا با تأکید بر کنترل بلادرنگ فشار                 | لحاظ شرایط هیدرولیکی محلی در مدل EPANET <sup>1</sup>              |
| Kalhori et al. (2025)                  | پایش منابع آب با سنسورهای ازدور                | تأکید بر داده‌محوری و پایش مستمر منابع آب       | هم‌راستا با چارچوب مدل مفهومی این پژوهش                 | ادغام داده‌های سنسورهای ازدور با داده‌های محلی و سامانه‌های SCADA |
| El Hanjri et al. (2023)                | پیش‌بینی مصرف آب شهری با یادگیری فدراسیون      | بهبود پیش‌بینی و برنامه‌ریزی مصرف آب            | همسو با بخش پیش‌بینی و پایش مدل پیشنهادی                | استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی در بستر داده‌های بومی            |
| Bartos et al. (2017)                   | کنترل بلادرنگ حوضه‌های آبریز شهری با IoT       | افزایش تاب‌آوری اقلیمی و کاهش ریسک              | مطابقت با اهداف بهبود تاب‌آوری در مدل پیشنهادی          | ترکیب IoT با مدل‌سازی هیدرولیکی محلی                              |
| Turcu & Turcu (2018)                   | پایش هوشمند شبکه‌های آبرسانی                   | بهبود کیفیت خدمات و کاهش نشت                    | همخوانی با راهکارهای پایش هوشمند                        | بومی‌سازی و تطبیق با ساختار نهادی ایران                           |
| Döll et al. (2018); Zhao & Boll (2022) | مدل جهانی WaterGAP (SCADA + RCP + CMIP6 + GIS) | یکپارچه‌سازی داده‌ها برای ارتقاء حکمرانی آب     | مدل پیشنهادی همدان تطابق بالایی با ساختار WaterGAP دارد | بومی‌سازی کامل و انطباق با اقلیم نیمه‌خشک و ساختار محلی           |

نوآوری و وجه تمایز اصلی این پژوهش در بومی‌سازی مدل مفهومی برای شرایط نیمه‌خشک همدان است؛ که نه تنها از فناوری‌های جهانی استفاده کرده، بلکه با بهره‌گیری از مدل‌سازی شبکه توزیع آب (EPANET)، تحلیل مصاحبه‌های دلفی، و الگوهای مصرف محلی، زمینه‌ای عملی برای اجرای واقعی فراهم کرده است. این نوآوری، گامی فراتر از چارچوب‌های نظری صرف است و می‌تواند به‌عنوان الگو برای سایر شهرهای ایران نیز در نظر گرفته شود.

<sup>1</sup> Environmental Protection Agency Network

## ۴- نتیجه‌گیری

طبق یافته‌های این پژوهش و در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش، شاخص‌های استخراج‌شده برای مدیریت هوشمند منابع آب شامل هشت شاخص کلیدی هستند: ۱- حکمرانی دیجیتال منابع آب (میانگین اثرگذاری ۴/۴)، ۲- مشارکت فناورانه و سواد آبی شهروندی (۴/۵)، ۳- پایش کیفی هوشمند منابع آب (۴/۳)، ۴- پایش کمی بلادرنگ (۳/۸)، ۵- مدیریت یکپارچه داده‌محور (۴/۱)، ۶- تاب‌آوری اقلیمی و زیستی (۳/۷)، ۷- تطبیق مکانی منابع و مصارف (۴/۲) و ۸- عدالت آبی و محرومیت فضایی (۴/۱). مقایسه این شاخص‌ها با ابعاد شهر هوشمند نشان داد که محیط زیست هوشمند، حکمرانی هوشمند و اقتصاد هوشمند بیشترین تأثیر را بر بهبود مدیریت منابع آب دارند و باید در اولویت سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی قرار گیرند، در حالی که تحرک هوشمند کمترین اثر را داشته است. به‌طور خاص، پیوند میان «حکمرانی هوشمند» با شاخص حکمرانی دیجیتال و «مردم هوشمند» با شاخص مشارکت فناورانه و سواد آبی، بیشترین تأثیر را در مدل مفهومی ارائه‌شده داشته‌اند. مدل مفهومی تلفیقی طراحی‌شده با ساختار سلسله‌مراتبی، به‌گونه‌ای شکل گرفته است که هم‌زمان به مؤلفه‌های انسانی، فناورانه، نهادی و زیست‌محیطی توجه دارد. این پژوهش نشان داد که پیاده‌سازی مدل مدیریت هوشمند منابع آب در شهر همدان، به‌واسطه هم‌راستایی فناوری‌های نوین مانند GIS, DSS, IoT, SCADA و مدل‌های اقلیمی با ساختار فضایی-اجتماعی شهر، از قابلیت بالایی برای کاهش هدررفت، افزایش شفافیت و ارتقاء عدالت فضایی برخوردار است. با این حال، اجرای این مدل نیازمند غلبه بر چالش‌هایی چون ضعف زیرساخت‌های مخابراتی، ناهماهنگی نهادی، فقدان آموزش منابع انسانی و مقاومت سازمانی در برابر شفاف‌سازی داده‌محور است. راهکار پیشنهادی پژوهش، حرکت به‌سوی حکمرانی سازگار است که با ظرفیت‌سازی نهادی، مشارکت فراگیر و سیاست‌گذاری تدریجی، امکان تحقق عملی این مدل را فراهم می‌سازد. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مشابه در سایر شهرهای نیمه‌خشک ایران، این مدل می‌تواند مبنای طراحی سیاست‌های ملی پایدار در حوزه منابع آب شهری قرار گیرد. این نتایج بیانگر آن است که راهبردهای پیشنهادی پژوهش تنها زمانی به دستاوردهای واقعی منجر خواهند شد که در اسناد و طرح‌های توسعه شهری همدان به‌صورت ساختاری و الزام‌آور لحاظ شوند. به‌ویژه، در طرح‌های بالادستی مانند طرح جامع و طرح تفصیلی، لازم است الزامات مدیریت هوشمند منابع آب - شامل پایش بلادرنگ کیفی و کمی، مدیریت فشار و حفاظت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی - در متن ضوابط و مقررات گنجانده شود. همچنین، در برنامه عملیاتی و راهبردی شهرداری باید فصل یا بخش مستقلی به اقدامات اجرایی مانند استقرار سامانه‌های کنترل هوشمند، استفاده از فناوری‌های سنسور و تقویت مشارکت شهروندی اختصاص یابد. در نتیجه، هم‌راستایی سیاست‌های شهری با مدیریت هوشمند منابع آب، علاوه بر ارتقای تاب‌آوری اقلیمی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر بحران‌های آبی، می‌تواند الگویی عملیاتی و بومی برای سایر شهرهای ایران فراهم آورد و بیشترین کارایی را در ارتقای بهره‌وری، کاهش هدررفت و افزایش پایداری منابع آبی ایجاد کند.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منفعی 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

هادی رضایی‌راد: تحلیل، نظارت، ویرایش و بازبینی متون، یکپارچه‌سازی و مدیریت داده‌ها. مجید غریب زاهدی: نگارش، روش‌شناسی، پژوهش، گردآوری داده‌ها، نرم‌افزار.

## منابع

- Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., & Yang, H. (2009). Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45(10), W10434. <https://doi.org/10.1029/2008WR007615>
- Abbas-Novinpour, A., Esfandiar, M., Sadeghi-Aghdam, M., Kaki, F., & Mehri, A. (2021). The impact of climate change on surface and groundwater resources in the Rouzeh-Chay plain. *New Findings in Applied Geology*, 15(29), 15–27. <https://doi.org/10.22084/nfag.2020.21337.1414>. (In Persian)
- Adeoti, S., Haremi, R., Kandasamy, J., & Vigneswaran, S. (2025). Evaluating the effectiveness of smart water management systems in enhancing the resilience and sustainability of water infrastructure in Nigeria. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 74(2), 253–266. <https://doi.org/10.2166/aqua.2025.291>
- Afruzi, S., Maryanji, Z., & Bazrafshan, J. (2022). Investigation of climate parameters trend in Hamadan and modeling and prediction of inflow runoff to Ekbatan Dam, Research Project. Hamedan Regional Water Company. <https://doi.org/10.22059/ije.2016.59656>. (In Persian).
- Amiri, M., & Gheysari, A. (2012). Optimal management of drip and sprinkler irrigation using climatic data. *Iranian Water Resources Engineering Journal*, 7(3), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.025>. (In Persian).
- Anthopoulos, L. G. (2017). Understanding smart cities: A tool for smart government or an industrial trick? *Cham: Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57015-0>
- Asadi, M. T., Zare Abyaneh, H., Delavar, N., & Asadi, A. (2019). The effect of climate change phenomenon on Hamadan climatic parameters. *Environmental Science and Technology*, 21(9), 1–14. <https://doi.org/10.22034/jest.2020.21435.3046>. (In Persian).
- Ashofte, P., & Bozorg-Haddad, O. (2019). A probabilistic approach to assessing the impacts of climate change on water resources. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20086377.1392.6.19.4.6>. (In Persian).
- Baneshi, A., & Mehraban, S. (2015). The role of smart buildings in managing energy and water consumption. *Technology and Sustainable Development Quarterly*, 6(2), 87–101. (In Persian).
- Bartos, M., Wong, B., Kerkez, B., & Chiu, P. (2017). Open storm: A complete framework for sensing and control of urban watersheds. *arXiv preprint arXiv:1708.05172*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.05172>. (In Persian).
- Bharathi, P., Karthickkraj, A., & Pasoubady, S. (2025). Smart water irrigation system for efficient water resources management. *Smart Irrigation Systems and IoT for Efficient Water Management*, 151–156. <https://doi.org/10.3390/en13236268>
- Charters, F., Cochrane, T., & Sullivan, A. (2021). The influence of urban surface type and characteristics on runoff water quality. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7), 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142470>
- Ciampittiello, M., Marchetto, A., & Boggero, A. (2024). Climate change and water resources management: A review. *Sustainability*, 16(9), 3590. <http://dx.doi.org/10.3390/su16093590>
- Döll, P., Trautmann, T., Gerten, D., Schmied, H. M., Ostberg, S., & Saaed, F. (2018). Risks for the global freshwater system at 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab792>
- Dong, J., & Wang, J. (2015). A survey on smart water monitoring systems: Architecture, technologies and challenges. *Sensors*, 18(11), 3941. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-4026-x>
- Elgendy, M., Hassini, S., & Coulibaly, P. (2024). Review of climate change adaptation strategies in water management: Case studies in the environment. *Case Studies in the Environment*, 5(1), 4. <https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-6014>
- El Hanjri, M., Kabbaj, H., Kobbane, A., & Abouaomar, A. (2023). Federated learning for water consumption forecasting in smart cities. In *ICC 2023-IEEE International Conference On Communications* (pp. 1798-1803). IEEE. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.13036>
- Elmi, S. D., Jahangir, S., & Shamsodini, A. (2024). Explaining the key drivers of smart cities with emphasis on knowledge-based societies. *Urban Planning Knowledge*, 7(4), 71–95. <https://doi.org/10.22124/upk.2024.25444.1882>. (In Persian).
- Eslamian, S., Abedi-Koupai, J., & Salemi, H. (2019). Water resources in Iran: Status and perspectives. In *Handbook of Drought and Water Scarcity* (pp. 353–368). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315226774>

- Eslami, R., & Rahimi, A. (2019). Policymaking and water crisis in Iran. *Strategic and Macro Policy Quarterly*, 7(27), 410–435. <https://doi.org/10.32598/JMSP.7.3.5>. (In Persian).
- European Commission. (2022). The European smart cities strategy for sustainable water and energy. Retrieved from <https://commission.europa.eu>
- Fadaei-Beghaei, M. (2019). Smart water network implementation for water distribution optimization. *Proceedings of the 3rd National Conference on Agricultural Engineering and Sustainable Natural Resources*, 1–9. (In Persian).
- Fatemi, S. E., Bahramlou, M., & Adibrad, A. (2016). A study of structural and non-structural strategies for sustainable water resources management in Hamedan-Bahar Plain. *Geography and Environmental Sustainability*, 6(3), 55–67.
- Ghoochanian, M., & Fashae, M. (2022). Water resource management indicators with a focus on governance. *Journal of Water and Sustainable Development*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i1.2110.1086>
- Gupta, A. D., Pandey, P., Feijóo, A., Yaseen, Z. M., & Bokde, N. D. (2020). Smart water technology for efficient water resource management: A review. *Energies*, 13(23), 6268. <https://doi.org/10.3390/en13236268>
- Hancke, G. P., Silva, B. d. C. e., & Hancke, G. P. J. (2013). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), 393–425. <https://doi.org/10.3390/s130100393>
- HRWC: Hamedan Regional Water Company. (n.d.). Annual report on water resources balance in Hamedan province. Retrieved August 11, 2025.
- Iancu, G., Ciolofan, S. N., & Drăgoicea, M. (2024). Real-time IoT architecture for water management in smart cities. *Discover Applied Sciences*, 6, 191. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05855-9>
- Iran Meteorological Organization. (2023). Climate data report for Hamedan province (2000–2022). Tehran: IMO Publications.
- IRIB News Agency. (2023). A look at the latest water crisis situation in Hamedan province. Islamic Republic of Iran Broadcasting. (In Persian).
- IRNA: Islamic Republic News Agency (2024). Average groundwater level drop in Hamedan province reached 2 meters. (In Persian). [https://report.mrc.ir/article\\_6482\\_a2c6cd65765cfa6a468b6386f12e2fac.pdf](https://report.mrc.ir/article_6482_a2c6cd65765cfa6a468b6386f12e2fac.pdf)
- Islamic Parliament Research Center. (2016). Smart city and its legal requirements. Tehran: Office for Infrastructure Studies. (In Persian).
- Jafari, H., Nikdad, H., & Hosseini-Bidar, S. H. (2021). Investigation of the effects of smart pressure control in the water distribution network of Hamedan city. *Proceedings of the 5th National Conference on Flow Measurement and Control in Industry and Power Plants*, 1–7. (In Persian).
- Jamsheedi, Sh. (2021). Requirements and roadmap for smartization of urban water distribution networks. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 5(4), 4–15. <https://doi.org/10.22112/jwwse.2020.217579.1185>. (In Persian).
- Jana, P. (2024). AI-powered IoT solutions for sustainable water management in cities. *Uncertainty Discourse and Applications*, 1(2), 158–169. <https://doi.org/10.48313/uda.v1i2.37>
- Kalhor, M., Tadayon, M., Kohrizi, E., & Gheyasvand, M. (2025). Analysis and monitoring of water resources and drought using a combination of GRACE, MODIS, and Landsat 8 satellite images (Case study: Hamedan County). *Water Resources and Climate Change*, 1(1), 62–74. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11390.1007>
- Karami, S. (2020). Re-examining the consequences and management strategies of climate change: The case of Iran's central watershed. *Applied Research in Geographical Sciences*, 20(59), 1–37. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.59.19>. (In Persian).
- Karamooz, M., Nazif, S., & Ahmadi, A. (2006). Indicators of sustainability in water resources management. *The Biennial National Conference of the Iranian Society of Environmental Experts*. <https://www.jscimedcentral.com/public/assets/articles/environmentalscience-10-1080.pdf>
- Khatami, S. S., Bozorgmehr, K., Zarrin, A., & Fall Soleiman, M. (2022). Analysis of water resources management studies in Iran and the world. *Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 251–271. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.73891.1136>
- Khatibi, H., Wilkinson, S., Eriwata, G., Sweya, L. N., Baghersad, M., Dianat, H., ... & Javanmardi, A. (2022). An integrated framework for assessment of smart city resilience. *EPB: Urban Analytics and City Science*, 49(5), 1556–1577. <https://doi.org/10.1177/23998083221092422>

- Mahdinejad, N., Mosari, F., Mosari, T., & Sarani, S. (2008). Water resources management and its strategies. *The International Water Crisis Conference*. <https://sid.ir/paper/814419/fa>
- Maroufi, S., Maryanji, Z., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2010). Investigation of trends and possible changes in annual temperature characteristics of Hamadan Province during 1976–2005. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 32(1), 27–41. <https://doi.org/10.22055/jise.2010.13386>. (In Persian).
- Maryanji, Z., Toulabi Nejad, M., & Dolatshahi, Z. (2023). The effect of climate change on snowfall and its prediction in Hamadan County. *Natural Geography Research*, 55(1), 113–129. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2023.358026.1007765>. (In Persian).
- Mohammad Sanabadi, R. (2015). Application of variable rate technology in precision irrigation. *Iranian Journal of Sustainable Agriculture*, 8(1), 25–38. (In Persian).
- Mohammadi, B. (2012). Trend analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning Journal*, 43(3), 21–24. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085362.1390.22.3.6.1>. (In Persian).
- Mortezavi, S. M., Soleimani, K., & Ghaffari Movag, F. (2011). Water resources management and sustainable development: A case study of Rafsanjan plain. *Water and Wastewater Journal*, 22(2), 126–131.
- Motalabi, M., & Hagh-Bayan, H. (2023). Analyzing the complexities and ambiguities of the concept of smart cities. *Human Geography Research*. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2023.350092.1008554>. (In Persian).
- Mutcheck, M., & Williams, E. (2014). Moving towards sustainable and resilient smart water grids. *Journal of Environmental Management*, 141, 104–113. <http://dx.doi.org/10.3390/challe5010123>
- Oberscher, M., Rauch, W., & Sitzenfrie, R. (2022). Towards a smart water city: A comprehensive review of applications, data requirements, and communication technologies for integrated management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(3), 04022002. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103442>
- Pour Ahmad, A., Ziari, K., Hataminejad, H., & Parsa Pashabadi, Sh. (2018). Explanation of concept and features of a smart city. *Bagh-e Nazar*, 15(58), 5–26.
- Rezapour, Z., Renani, M., & Amiri, H. (2021). Common resource management: Market, government, or neither? A review of water resource management studies in Iran (with emphasis on Ostrom's perspective). *Iranian Journal of Economic Research*, 26(88), 89–127. <https://doi.org/10.22054/ijer.2021.47477.814>
- Rodgers, D. (2000). The evolution of smart cities and the smart water grid. New York: Urban Affairs Review.
- Souri Nejad, A. (2020). Assessing the impact of climate change on renewable surface water resources in thirty national watersheds. *Natural Geography Research*, 52(3), 351–373. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.270634.1007309>. (In Persian).
- Stankovic, B. (2017). Women's experiences of childbirth in Serbian public healthcare institutions: A qualitative study. *International Journal of Behavioral Medicine*, 24, 803–814. <https://doi.org/10.1007/s12529-017-9672-1>
- Tahir, U., Yasmin, A., & Khan, U. H. (2016). Phytoremediation: Potential flora for synthetic dyestuff metabolism. *Journal of King Saud University–Science*, 28(2), 119–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2015.05.009>
- Turcu, C., & Turcu, C. E. (2018). IoT-oriented approach for water utility monitoring and control. *arXiv preprint arXiv:1811.12807*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.12807>. (In Persian).
- Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N. M., & Nelson, L. E. (2010). Helping CIOs understand “smart city” initiatives: Defining the smart city, its drivers, and the way ahead. *Forrester Research Report*, 1–17.
- WaterGAP Project. (2021). Global assessment of freshwater resources using WaterGAP.
- WRCC.Qom: Water Resources Climate Change Research Center of Qom. (2022). Satellite-based estimation of runoff and groundwater level variations in Hamedan plain. *Water Resources Climate Change*, Qom University.
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Foth, M., Sabatini-Marques, J., da Costa, E., & Ioppolo, G. (2018). Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 45, 348–365. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.033>
- Zhao, M., & Boll, J. (2022). Adapting water resources management to climate change: Insights for decision-making. *Frontiers in Water*, 4, 983228. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.983228>