Disaster Prevention and Management Knowledge

Summer 2026. Vol 16. Issue 2

Research Paper

# Framework for Prioritizing Water Supply System Resilience Solutions Using Best-worst Method and Gray Relation Analysis: A Case Study of Babol City, Iran

**Zahra Mohammadpour[1], *Mohammad Ali Nekooie[2], Hadi Zakery Khatir[2]**

1. Department of Crisis Management, University Complex of Engineering and Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2. University Complex of Engineering and Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

**Citation** Mohammadpour, Z., Nekooie, M. A., & Zakery Khatir, H. (2026). [Framework for Prioritizing Water Supply System Resilience Solutions Using Best-worst Method and Gray Relation Analysis: A Case Study of Babol City, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *16*(2):264-293. https://doi.org/10.22034/DPMK.16.2.969.1

https://doi.org/10.22034/DPMK.16.2.969.1

## ABSTRACT

**Background and objective** Building resilient infrastructure is essential because hazards increasingly affect society. Studies and actions by water and wastewater companies play a fundamental role in strengthening infrastructure resilience. However, improving these conditions often faces challenges, such as competing priorities and resource constraints. This study aimed to address this challenge by providing a dynamic method to rank optimal solutions, determine the actual level of different resilience-building solutions, and help allocate resources based on priorities to maintain the functioning of the water supply system.

**Methods** A framework is presented to determine and prioritize optimal solutions to improve the resilience of the Babol city water distribution network under six categories of threats, such as flood, earthquake, wear and tear, etc. in two asset categories: reservoirs and pipelines. The methodology uses gray relation analysis and expert scoring based on components derived from the ERASMUS model, the best-worst method, and identification of network weaknesses through a field visit. Information collection was performed through library resources and interviews.

**Results** Among the 63 proposed solutions to improve the resilience of the bottleneck zone, after analysis and considering the decision-making components of time (importance coefficient 0.22), cost (0.07), and performance (0.71), four solutions were identified as the highest-priority and most important options for this network.

**Conclusion** This zone requires special attention and implementation of the selected priority solutions to reduce vulnerability, increase resilience, and ensure continued operation against hazards.

**Keywords** Improving resilience, Business continuity, Water supply systems, Optimal resilience solutions, Prioritizing solutions, Gray analysis (GRA), Best-worst method (BWM)

**Article Info:**

**Received:** 09 Jul 2025

**Accepted:** 25 Aug 2025

**Available Online:** 01 Apr 2026

***Corresponding Author:***
**Mohammad Ali Nekouei, Associate Professor.**
**Address:** University Complex of Engineering and Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
**Tel:** +98 (21) 22931367
**E-mail:** ali.nekooie@gmail.com

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

## English Version

### Introduction

Owing to the severe impacts of natural and human-induced disasters, infrastructure resilience has increasingly attracted scholarly attention as a critical concept for effective disaster risk management (Sun and Zhang, 2020; Alkady et al., 2024). Infrastructure systems deliver services to end users (consumers) and resilience ensures the continuity of service provision (functionality), even under adverse conditions (Levin et al., 2024). Business continuity refers to an infrastructure facility's ability to produce or provide services within an acceptable and approved timeframe, at a predefined capacity, during and after a threat or disruptive event (Passive Defense Organization, 2023). Accordingly, resilient infrastructure is essential for urban sustainability and the rapid restoration of urban functions (Alavi et al., 2020).

Studies on resilience have introduced innovative perspectives and valuable tools that not only improve emergency response and the management of disaster consequences but also emphasize the importance of anticipatory planning for preparedness, risk reduction, and impact mitigation activities, including business continuity planning (Alkady et al., 2024).

Like other critical infrastructures, urban water supply systems comprise diverse and interconnected components. As vital infrastructure systems that sustain numerous societal functions, they are continuously vulnerable to external and internal stressors. These stressors (Figure 1), in light of recent experiences showing that existing water infrastructure systems cannot remain fully protected or immune to all disruptive events may trigger cascading events and potential consequences. Ultimately, such circumstances can result in unreliable performance of drinking-water systems across the three main sectors of water supply, treatment, and distribution (Rockstad et al., 2023; Bakhshi et al., 2020; Lorenz and Pels, 2020; Shin et al., 2019). Therefore, enhancing system reliability and reducing vulnerability to damage and disruption have long been major concerns for engineers and managers responsible for designing, operating, and protecting these systems (Yazdani et al., 2011).

Resilience is an approach that reinforces service reliability at every stage of the service-delivery chain and, in turn, enhances a system's capacity to maintain an agreed level of service despite shocks and respond effectively to them. However, given the inadequate incorporation of passive defense requirements in infrastructure design and implementation, as well as the aging condition of urban water supply systems in the country, ensuring their resilience in a manner that enables efficient, reliable, and equitable water distribution to citizens is far from straightforward (Stip et al., 2019; Crozier et al., 2024; Pourtabari and Pourtabari, 2017).

In recent years, managers have increasingly focused on improving the resilience of water supply systems, which constitute an integral component of human life and societies. The objective is to enable these systems to sustain the least possible damage and return to normal service provision in the shortest possible time, at minimum cost, and with minimal human intervention (Jebeli, 2020; Mohammadpour et al., 2024). Furthermore, since managerial decision-making and investment selection for each strategy remain challenging tasks even under optimal conditions (Tortilla, 2016), this study seeks to develop a framework for prioritizing resilience-enhancement strategies.

In this regard, numerous scholarly sources have addressed the importance of improving infrastructure resilience against various hazards. However, a literature review clearly reveals a lack of a framework for prioritizing strategies to enhance the resilience of water supply systems, which is the objective of the present study. Accordingly, after presenting the research questions, this study reviews the most significant studies on prioritizatig resilience-enhancing strategies in various fields.

The research questions are as follows:

1. Which strategies, under which threats, can be proposed to enhance the resilience of Babol City's water distribution network?

2. What criteria should be considered to evaluate the most appropriate strategies for enhancing the resilience of the water distribution network?

3. What method can be used to prioritize strategies to improve the resilience of the water distribution network?

Piri and Jafari (2023), in a study aimed at identifying and prioritizing psychological resilience strategies for human resources in educational organizations, employed purposive sampling and the snowball technique using both qualitative and quantitative approaches. In the quantitative phase, the study population included 67 senior- and middle-level managers, as well as administrative staff, at the University of Urmia, selected through a non-probability sampling method. In the qualitative

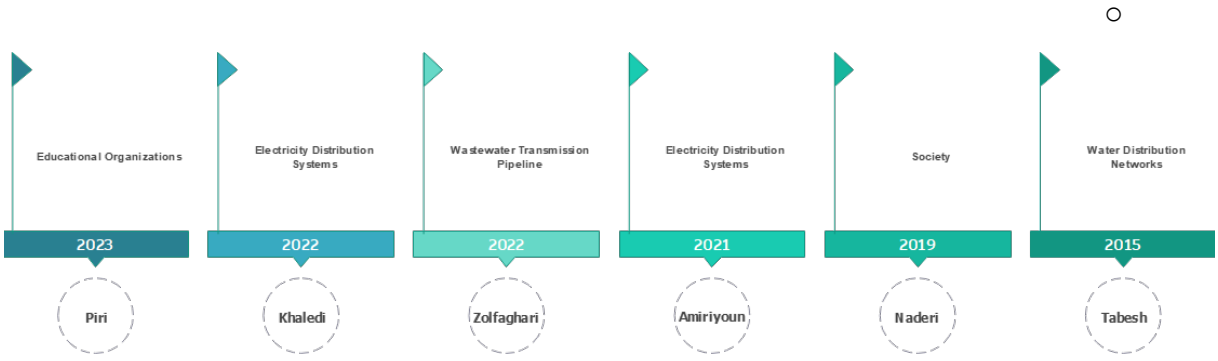



**Figure 2.** Summary of resilience-enhancement strategy prioritization across different sectors

phase, data obtained from interviews were analyzed using MAXQDA 2020 software, identifying 14 psychological resilience strategies for human resources. The quantitative analysis was conducted using the DEMATEL method. The findings indicated that stress management, the importance of feedback, improvement of quality of work life, and effective communication were the strategies exerting the greatest influence on other strategies. In contrast, strategic agility, structural empowerment, horizontal management, and perceived organizational support were more influenced by other strategies. Ultimately, psychological empowerment, horizontal management, stress management, and effective communication were identified as the selected strategies that both influence and are influenced by other strategies.

Khaledi et al. (2022) focused their study on the distribution sector, given the insufficient attention paid to electricity distribution systems as one of the most critical components of energy infrastructure. The study identified the principal resilience-enhancement strategies as: (1) the use of distributed generation, (2) intentional islanding, (3) identification of critical loads, (4) optimal reconfiguration of the distribution network, (5) smart grids, and (6) robust optimization. The authors further noted that these strategies are generally more costly than conventional approaches to operating energy systems and are therefore less likely to be embraced by policymakers in this field. They recommended that future studies investigate the integrated application of these strategies to reduce costs and facilitate the development of resilient smart energy systems.

Zolfaghari et al. (2022), in a study assessing the resilience of the wastewater transmission pipeline infrastructure connecting the Tehran metropolitan area to the Firouz Bahram Treatment Plant, identified the factors influencing resilience in light of the various potential threats to this infrastructure. Subsequently, they applied an infrastructure resilience assessment method and adapted it to the wastewater transmission line leading to the Firouz Bahram Treatment Plant. In addition to determining the infrastructure's current resilience status, the method included developing resilience-enhancement strategies and reassessing resilience during the structural assessment stage (Step 6). Finally, following the calculation of the optimal resilience cost, the author proposed implementing a wastewater bypass to the Kan River.

Amiriyoun et al. (2021) proposed a novel method for prioritizing resilience-improvement strategies in electrical distribution networks, which constitute the final link in the energy supply chain of power systems. First, a set of candidate strategies to enhance the resilience of distribution networks against disruptive events was defined. Subsequently, the value of each strategy was determined using a benefit–cost ratio, considering both the resilience improvement achieved through implementation and the associated implementation cost. The strategies were ultimately prioritized by benefit–cost ratio. To demonstrate the effectiveness of the proposed method, it was implemented in MATLAB using the standard IEEE 33-bus test system.

Naderi and Mahsouli (2019) developed an optimization model for the resilience index within the Rtx resilience assessment framework at Sharif University of Technology. This index is calculated based on the total costs imposed on society as a consequence of a hazardous event. The probability distribution of these societal costs was simulated through Monte Carlo sampling to calculate the index. Such costs arise from: (1) repair and replacement of damaged structures and infrastructure; (2) injuries and fatalities; (3) infrastructure service disruptions; (4) business interruptions; (5) deterioration in the quality of life of affected individuals; (6) temporary housing; and numerous other phenomena simulated using agent-based modeling throughout the community recovery period. By maxi-

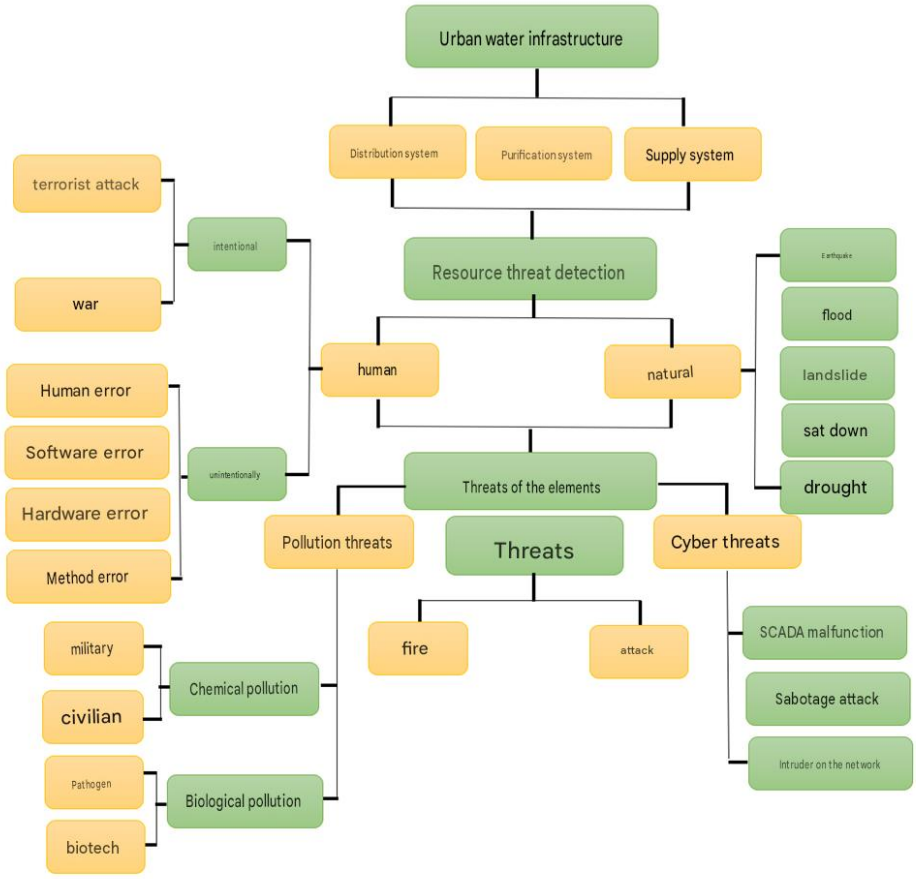



**Figure 1.** Hazards and threats to a water supply system (Mohammadpour, 2024)

mizing the resilience index—which consequently minimizes the total societal cost—the optimal priorities for infrastructure repair and reconstruction operations were determined as integer values. A genetic algorithm was employed to perform this optimization. The principal innovation of this study was the decentralized optimization of probabilistically simulated events occurring during the recovery period of interdependent infrastructure systems. The optimization results demonstrated a 2% reduction in the total societal cost, corresponding to savings of approximately USD 3 million. This improvement was achieved without additional resources, solely through optimal recovery planning. The proposed framework can serve as a decision-support system by evaluating the effects of different decisions on resilience and optimizing these effects by identifying and refining optimal decisions.

Tabesh et al. (2015) developed a model for selecting the most appropriate water demand-management strategy in urban water distribution networks using multi-criteria decision-making methods. They also implemented the proposed model in Tehran to evaluate its effectiveness. The selected strategies included consumer awareness-raising through educational and promotional programs, reducing non-revenue water, increasing water tariffs, and using water-saving devices. The criteria used to score the strategies were: (1) cost, (2) time, (3) customer satisfaction, (4) the level of unaccounted-for water, and (5) the effect of implementation on reducing water consumption. Sensitivity analyses were also performed on the weights assigned by decision-makers and on the form of the fuzzy numbers used to assess how uncertainty in the model affects the final results. Ultimately, reducing non-revenue water was identified by decision-makers as the most appropriate strategy.

The diagram below (Figure 2) illustrates the various areas of research and application in this field.

## Materials and Methods

This study's proposed mechanism was developed from a previous study entitled "Development of an integrated resilience model for urban water supply networks: A Case study of Babol City, Iran." That study confirmed the need to enhance the resilience of Zone X within Babol's water

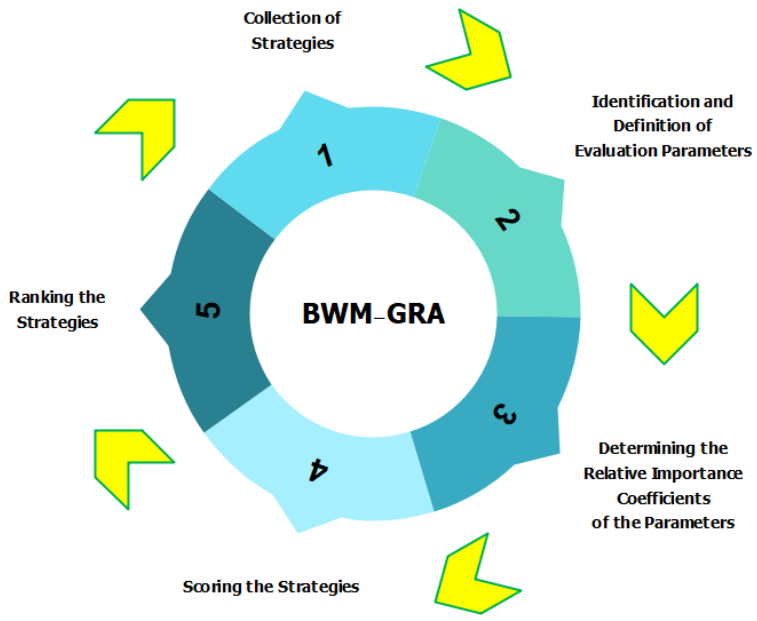



**Figure 3.** Framework of the research methodology process

distribution network, which is one of the network's critical bottleneck zones. This zone comprises one reservoir, one water pumping station, one water treatment plant, and 10,257 m of pipelines made of asbestos, polyethylene, PVC, steel, and ductile iron.

The research procedure followed a systematic, step-by-step framework. Resilience-enhancement strategies for the water distribution network were categorized into six groups: water quality and safety, aging and deterioration, pressure differentials, flooding, earthquakes, and other necessary measures. These strategies were evaluated based on three key parameters: time, cost, and performance.

The analytical process employed an integrated two-method approach, including the best–worst method (BWM) to determine the relative importance of the evaluation parameters and grey relational analysis (GRA) to obtain the final ranking of strategies according to their respective scores. This framework, developed in alignment with the objectives of the present study, consists of five operational steps, as illustrated in Figure 3.

In this study, GRA was conducted using the specialized GRA Solver 2015 software. Based on the fundamental algorithms of Grey Systems Theory, this software enables data normalization and the precise calculation of the effects of grey relational coefficients. Its major capabilities include automatically importing data from Excel files and performing complex calculations to generate objective and reliable results for the final prioritization of strategies. However, one limitation of the software is its maximum analytical capacity of 82 alternatives and 82 criteria.

Given that the present study focused exclusively on a single bottleneck zone within Babol's water distribution network, the expert panel was selected from three specialized groups: water supply and wastewater network designers, officials and managers from the Water and Wastewater Company, and experts in crisis management and passive defense. All selected experts had direct, in-depth knowledge of the study zone. The number of specialists was considered adequate and appropriate for the scope and level of the present investigation.

## Results

### Step 1: Collection of strategies

To identify and extract effective strategies for enhancing the resilience of Babol City's water distribution network, a mixed approach comprising field investigations, expert interviews, and a review of scientific literature was employed. Accordingly, three key sources of data were used:

1. Field visits to the assets of the water distribution network, conducted to assess the existing conditions and identify operational challenges;

2. Interviews with crisis management and passive defense experts, as well as managers in the Mazandaran Province water and wastewater sector, conducted to draw upon experiential knowledge and technical perspectives; and;




**Figure 4.** Defined parameters for evaluating the strategies

3. Review and analysis of scientific resources, including books, research articles, and relevant theses, conducted to identify evidence-based proposed strategies.

This process identified 63 strategies, classified into six distinct categories. These categories were developed around five major hazards—namely, water quality and safety, aging and deterioration, pressure differentials, flooding, and earthquakes—as well as a sixth category entitled "other strategies." The latter category was developed based on weaknesses observed during field inspections of the infrastructure. Tables 1 and 2 present the proposed strategies in coded form.

From an asset-classification perspective, the water distribution network in this study was divided into two principal components:

1. Reservoir-related facilities, including storage reservoirs, pumping stations, and water treatment plants; and

2. Pipeline systems, including transmission and distribution pipelines and all associated connections.

This classification framework provided the basis for the subsequent analyses undertaken to prioritize resilience-enhancement strategies.

## Step 2: Identification and definition of evaluation parameters

At this stage, following expert assessments and consultations with specialists in the water and wastewater sector, and drawing on scientific literature such as the ERASMUS model, the criteria for selecting the most appropriate strategies to strengthen the resilience of Babol City's water distribution network were identified and formulated. These criteria comprise three principal and influential parameters (Figure 4) for evaluating and prioritizing the strategies, each of which directly affects the overall performance and resilience of the network:

### Required implementation time

This parameter is directly associated with social resilience and represents the time required to implement each strategy for improving the performance and resilience of the water distribution network. It matters because implementation duration may affect social stability and the community's capacity to withstand crises.

### Required implementation cost

This parameter assesses the financial resources required to implement each strategy and represents the amount of budget needed to operationalize the proposed measure.

### Activation of sub-capacities (performance)

This criterion evaluates each strategy's effect on the overall performance of the water distribution network. More specifically, it assesses the extent to which a strategy activates the sub-capacities associated with each resilience capacity, according to its impact on the network's overall functioning.

In other words, this parameter measures how much each strategy's implementation enhances the network's overall productivity and operational efficiency of the network.

The following section defines and explains the indicators associated with each parameter to clarify how the strategies were evaluated and prioritized.

### Assessment of the time criterion

In this section, the time criterion was evaluated based on the duration required to initiate and implement each strategy in the bottleneck zones of the water distribution network. To determine the implementation timeline for each strategy, three temporal categories were considered:

1. Short term (0 to 1 month),

2. Medium term (1 to 6 months), and

3. Long term (6 to 18 months).

**Table 1.** Final scores based on the grey relational grades

| Result | Time | Cost | Performance | Final Score | Result | Time | Cost | Performance | Final Score |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ex-5 | 720 | 3 | 90 | 0.95 | F-17 | 336 | 3.5 | 50 | 0.58 |
| Er-1 | 6 | 2 | 80 | 0.83 | Er-19 | 6480 | 8 | 70.5 | 0.58 |
| F-7 | 48 | 1.75 | 79.5 | 0.83 | F-12 | 1440 | 1 | 50 | 0.58 |
| O-6 | 24 | 3 | 78 | 0.80 | Er-4 | 2880 | 4 | 60 | 0.57 |
| Er-13 | 720 | 3 | 80 | 0.79 | F-14 | 48 | 2.5 | 40 | 0.56 |
| O-1 | 720 | 4 | 80 | 0.79 | P-4 | 13140 | 9 | 70 | 0.54 |
| F-4 | 720 | 4.5 | 80 | 0.78 | Ex-2 | 1440 | 6 | 50 | 0.54 |
| O-11 | 72 | 5 | 78 | 0.78 | H-4 | 2880 | 5.5 | 55 | 0.53 |
| H-7 | 336 | 4 | 78 | 0.78 | F-2 | 720 | 3.5 | 40 | 0.53 |
| O-4 | 168 | 6 | 78 | 0.77 | Er-17 | 720 | 4 | 40 | 0.53 |
| P-1 | 2160 | 3 | 80 | 0.76 | Er-7 | 2160 | 1 | 40 | 0.52 |
| H-2 | 720 | 2 | 75.5 | 0.75 | Er-3 | 5760 | 6.5 | 60.5 | 0.52 |
| Er-10 | 24 | 1.5 | 70 | 0.74 | Er-9 | 7920 | 8 | 60 | 0.50 |
| O-7 | 720 | 5.75 | 76 | 0.73 | H-8 | 8760 | 8 | 60 | 0.49 |
| F-8 | 72 | 2.75 | 70 | 0.72 | Er-5 | 5040 | 3.5 | 50 | 0.49 |
| F-16 | 504 | 2 | 70 | 0.71 | O-8 | 4320 | 5.5 | 50 | 0.49 |
| F-5 | 360 | 3 | 70.5 | 0.71 | Er-15 | 5040 | 4.5 | 50 | 0.48 |
| F-15 | 48 | 6.5 | 70.5 | 0.71 | Er-11 | 4320 | 7 | 50 | 0.48 |
| F-6 | 720 | 4 | 70 | 0.69 | H-5 | 72 | 3 | 10 | 0.48 |
| O-3 | 720 | 5 | 65 | 0.64 | O-2 | 8760 | 6 | 57 | 0.48 |
| O-10 | 8760 | 4 | 77 | 0.64 | F-10 | 2160 | 2.5 | 30 | 0.47 |
| P-3 | 168 | 6 | 60.5 | 0.63 | Ex-1 | 5760 | 7 | 50 | 0.47 |
| F-9 | 720 | 3 | 55.5 | 0.63 | Er-12 | 4320 | 8 | 40 | 0.44 |
| F-3 | 720 | 3.5 | 60.5 | 0.62 | Er-6 | 2160 | 1 | 0 | 0.43 |
| Ex-4 | 720 | 3.5 | 60.5 | 0.62 | Er-14 | 5760 | 8.5 | 40.5 | 0.43 |
| F-11 | 1440 | 1.5 | 60.5 | 0.62 | Er-2 | 2880 | 2.5 | 10 | 0.41 |
| H-3 | 720 | 5 | 60 | 0.61 | Er-18 | 8640 | 7.5 | 40.5 | 0.41 |
| H-6 | 4320 | 6 | 70 | 0.61 | H-1 | 4320 | 4 | 20 | 0.40 |
| O-9 | 720 | 3 | 55.5 | 0.60 | Er-8 | 8760 | 5 | 30 | 0.38 |
| F-13 | 2160 | 2 | 60 | 0.60 | F-1 | 9360 | 5.5 | 30 | 0.37 |
| P-2 | 5760 | 5.5 | 70.5 | 0.60 | O-5 | 8760 | 8.5 | 30 | 0.37 |
| Er-16 | 6480 | 4.5 | 70 | 0.59 | | | | | |

**Table 2.** Strategy database and resilience characteristics of each strategy

| Strategy Aligned With The Hazard | Resilience Capacities of Water Infrastructure | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Absorption | | | | | Adaptation | | | | | | Recovery | | |
| | Storage | Smartification | Strengthening | Parallelization | Separation | Replacement | Diversion | Protection | Reorganization | Innovation | Advanced warning and Monitoring Systems | Forecasting | Mutual Aid Agreements | Training |
| Er-1 | | | | n | | n | | | | | | | | |
| Er-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-3 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-4 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-5 | | | | | | | | | n | | | n | n | |
| Er-6 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-7 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-8 | | | | | | n | n | | | | | | | |
| Er-9 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-10 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-11 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-12 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-13 | | | | | | | n | | | n | | | | |
| Er-14 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-15 | | | | | n | | | | | | | n | | |
| Er-16 | | | n | | | | | | | | | n | | |
| Er-17 | | | | | n | | | | | | | | | |
| Er-18 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-19 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-1 | | | | | n | | n | | | n | | | | |
| F-2 | | | | | n | | | | | | | | | |
| F-3 | | | | | | | | | | | | n | | |
| F-4 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-5 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-6 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-7 | | | n | | | | | | | | | | | |

| Strategy Aligned With The Hazard | Resilience Capacities of Water Infrastructure | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Absorption | | | | Adaptation | | | | | | Recovery | | | |
| | Storage | Smartification | Strengthening | Parallelization | Separation | Replacement | Diversion | Protection | Reorganization | Innovation | Advanced warning and Monitoring Systems | Forecasting | Mutual Aid Agreements | Training |
| F-8 | | | | | | | | | n | | | | n | |
| F-9 | | | | | n | | | | | | | | | |
| F-10 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-11 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-12 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-13 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-14 | | | | | | | | | | | n | n | | |
| F-15 | | | | n | | | | | | | | | | |
| F-16 | | | | | | | | | | | | n | n | |
| F-17 | | | n | | | | | n | | | | | | |
| P-1 | | n | | | | | | | | | | | | |
| P-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| P-3 | | n | | n | | n | | | | | | | | |
| P-4 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| Ex-1 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-3 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-4 | | | | | | | | | | | n | | | |
| Ex-5 | | | n | | | | | | | | | | | |
| H-1 | | | | | | | | | | | n | | | n |
| H-2 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-3 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-4 | | | n | | | | | n | | | | | | |
| H-5 | | | n | | | | | | | | | n | | |
| H-6 | | | | n | | n | | | n | n | | | | |
| H-7 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-8 | | | n | | | | | | | | | | | |
| O-1 | | | | | | | | n | | | | | | |

| Strategy Aligned With The Hazard | Resilience Capacities of Water Infrastructure | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Absorption | | | | | | Adaptation | | | | | Recovery | | |
| | Storage | Smartification | Strengthening | Parallelization | Separation | Replacement | Diversion | Protection | Reorganization | Innovation | Advanced warning and Monitoring Systems | Forecasting | Mutual Aid Agreements | Training |
| O-2 | n | | | n | | n | | | | | | | | |
| O-3 | | | | | | | | | | | | n | n | |
| O-4 | | | | | | | | n | | | n | | | |
| O-5 | | | | | | | | n | | | | | | |
| O-6 | | | | | | | | n | | | | | | |
| O-7 | n | | | | | | | | | | | n | n | |
| O-8 | | | | n | | | | | | | | n | n | n |
| O-9 | | | | | | | | | | | | | n | n |
| O-10 | | | | | | | | | | | | | n | |
| O-11 | | | | | | | | | | | | | | n |

Abbreviations: Er: Earthquake; F: Flood; P: Pressure difference; Ex: Exhaustion; H: Water health; O: Other strategies.

These classifications were adopted to provide a comprehensive and accurate assessment of the implementation schedule of the strategies and their impact on network performance improvement. Scoring for each component was performed in hours, as specified in Table 3.

### Assessment of the cost criterion

To estimate and evaluate the costs associated with initiating, implementing, and executing each strategy in the critical zones, the cost of each strategy was presented within defined categories. These categories, detailed in Table 4, were determined according to the cost range of the different strategies—from the lowest to the highest implementation costs among the available options. In other words, each strategy was assigned to a category based on its associated cost, enabling effective comparison and prioritization.

### Assessment of the performance criterion

In this section, the performance parameter was evaluated in terms of the overall performance of the network—specifically, the water-delivery capacity of the water distribution network—as affected by the implementation of each strategy in the bottleneck zone. The scoring indicators for this parameter were designed to accurately assess network performance by implementing each strategy and were established in accordance with Table 5.

**Table 3.** Indicators for measuring the time component

| Rank | Description | Score |
|---|---|---|
| Short term | The time required for action and operation of the strategy is at most 1 month. | 1–720 |
| Medium term | The time required to implement and operate the strategy is between 1 and 6 months. | 720–4320 |
| Long term | The time required for action and operation of the strategy is between 6 and 18 months. | 4320–13140 |

**Table 4.** Indicators for measuring the cost component

| Rank | Description | Score |
|---|---|---|
| Very low | The cost of implementing the proposed strategy is between 0 and 200 million tomans. | 8–10 |
| Low | The cost of implementing the proposed strategy is between 200 and 400 million tomans. | 6–8 |
| Moderate | The cost of implementing the proposed strategy is between 400 and 600 million tomans. | 4–6 |
| High | The cost of implementing the proposed strategy is between 600 million and 1 billion tomans. | 2–4 |
| Very high | The cost of implementing the proposed strategy exceeds 1 billion tomans. | 0–2 |

### Step 3: Determining the relative importance coefficients of the parameters

In the third step, the BWM, a multi-criteria decision-making technique, was employed to determine the relative importance coefficients of the criteria selected in the previous step. The analysis used managers' opinions from the Water and Wastewater Company and was performed in Microsoft Excel. First, performance was selected as the best (most important) parameter, whereas cost was identified as the worst (least important) parameter. Subsequently, the best-to-others (BO) and others-to-worst (OW) vectors were constructed and scored. In the BO vector, the best criterion was compared with itself and with the other criteria. In the OW vector, each of the three criteria was compared with the worst criterion. The relative importance coefficient of each criterion was then calculated and determined.

Figure 5 shows the results of these calculations and served as the basis for prioritizing the criteria during the evaluation process.

### Step 4: Scoring the strategies

After determining each criterion's weight, the strategies listed in the strategy database (Table 2) were scored according to the target zone characteristics and the indicators defined for each criterion in the decision matrix. Also, at this stage, the decision matrix must be constructed, the data normalized or made dimensionless, the reference target series defined, the grey relational coefficient calculated, the grey relational grade determined, and ultimately the final score obtained based on the grey relational grades using GRA Solver 2015, so that a more accurate evaluation and prioritization of the strategies can be achieved.

It should be noted that, because of the considerable length of the strategy titles associated with the threats/hazards examined in this article, abbreviated labels were used. Each label begins with an abbreviation representing the relevant threat or hazard, followed by a number indicating the strategy's sequence within that threat category. The abbreviations are as follows:

Er: Earthquake

F: Flood

P: Pressure difference

Ex: Exhaustion

H: Water health

O: Other strategies

Table 1 presents the scores assigned to each strategy and its final score based on the grey relational grade.

Abbreviations: Er, earthquake; F, flood; P, pressure difference; Ex, exhaustion; H, water health; O, other strategies.

**Table 5.** Indicators for measuring the performance component

| Rank | Description | Score |
|---|---|---|
| Favorable | The strategy implementation has a substantial effect on network performance. | 80–100 |
| Stable | The strategy implementation has a moderate effect on network performance. | 60–80 |
| Semi-stable | The strategy implementation has a limited effect on network performance. | 20–60 |
| Disrupted | The strategy implementation has no effect on network performance. | 0–20 |

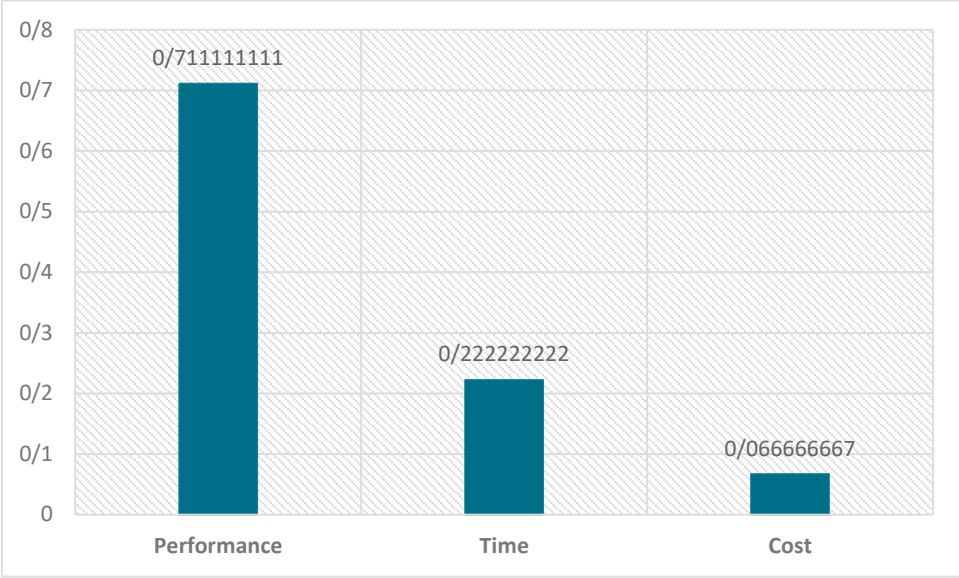



**Figure 5.** Relative importance coefficients of the parameters

## Step 5: Ranking the strategies

The final prioritization of the strategies was based on expert judgment and the decision to implement resilient strategies for the Mazandaran Water and Wastewater Company in Babol City, as shown in the Table 6.

Table 7 presents the strategies assigned to first priority—those considered highly important to implement.

### Detailed description and importance of the first-priority strategies

The details and significance of each strategy are explained below.

**Strategy 1:** Monitoring the reservoir outlet flow rate, scheduling reservoir drainage, carrying out maintenance, and repairing existing joints and cracks in the reservoir wall are among the critical elements of reservoir management and maintenance. Monitoring outlet flow helps identify unusual fluctuations that may indicate structural or hydraulic problems. Based on these data, an accurate schedule can be developed to drain the reservoir and perform the necessary repairs to eliminate leaks and cracks. Repairing the visible defects identified during the field visit (Figure 6) prevents contamination from entering the water source and also helps maintain the reservoir's long-term safety and efficiency. In this way, in addition to preserving water quality, the water supply system is protected from more serious problems and additional future costs (Ex-5).

**Strategy 2:** Installing emergency power generators and uninterruptible power supply (UPS) systems in the reservoir, pumping station, and sensitive complexes is proposed to prevent service disruption during power outages and improve emergency preparedness in the target zone. These systems support infrastructure resilience against natural and human-made hazards, especially when reliance on the public power supply is disrupted. In other words, such energy sources in critical facilities—particularly in disaster-prone areas—play an important role in maintaining the continuity of essential services and reducing damage from disruptions. In this regard, in addition to installing emergency generators and UPS systems, these systems must be regularly tested and maintained so that they are fully

**Table 6.** Determining the priority level of resilience strategies

| Priority | Score |
|---|---|
| 1st | 0.8–1 |
| 2nd | 0.4–0.8 |
| 3rd | 0–0.4 |

**Table 7.** First-priority strategies in order of score

| Asset Category | Strategy Code | Strategy Description | Hazard | Capacity Activation |
|---|---|---|---|---|
| Reservoir | Ex-5 | Monitoring the reservoir outlet flow rate and planning for drainage, maintenance, and repair of existing cracks and leaks on the reservoir wall. | Exhaustion | Absorption |
| | Er-1 | Installing emergency power generators and uninterruptible power supply (UPS) systems in reservoirs, pumping stations, and sensitive complexes to prevent service disruption. | Earthquake | Absorption, Adaptability |
| | F-7 | Filling treated water storage reservoirs to full capacity in anticipation of flood events. | Flood | Absorption |
| | O-6 | Securing and fencing the areas around reservoirs to prevent possible acts of sabotage. | Other | Adaptability |

Abbreviations: Er: Earthquake; F: Flood; Ex: Exhaustion; O: Other strategies.

operational when needed. Moreover, proper management of these energy sources, including consumption management and optimized scheduling of their use, can increase efficiency and reduce long-term costs. Ultimately, given the need to maintain functionality and service delivery under crisis conditions, installing these systems is recognized as an infrastructural priority for enhancing the resilience of pumping stations and water reservoirs (Er-1).

**Strategy 3:** To leave sufficient space for flood infiltration and avoid contamination of existing water reservoirs, fill all available storage capacity when flood risk is forecast. This strategy is critical to maintaining the resilience of water supply systems and ensuring the availability of water resources during emergencies. Therefore, filling water reservoirs during periods of risk and before a crisis occurs not only serves as a preventive measure for emergency water supply, but also plays a fundamental role in improving the resilience of water infrastructure and protecting the health and well-being of society under crisis conditions (F-7).

**Strategy 4:** Securing and fencing the areas around reservoirs is proposed to prevent possible acts of sabotage. This measure is intended to prevent unauthorized access to the reservoir and water transmission facilities, as well as to define the boundaries of the land owned by the Regional Water Company. Ultimately, it is recommended to increase the security level of reservoirs against potential sabotage activities (O-6).

## Discussion

The study's findings indicate that the combined BWM–GRA approach is an appropriate tool for prioritizing resilience strategies in water supply networks. The results show that the performance criterion, weighted at 0.71, had the greatest influence on the final evaluation of the strategies. One innovative aspect of this study was simultaneously considering quantitative criteria—time and cost—and the qualitative performance criterion when evaluating the proposed strategies.



**Figure 6.** Existing reservoir in the bottleneck zone X

Strategy Ex-5—monitoring the outlet flow rate and repairing the existing joints and cracks in the reservoir wall—was identified as the highest-priority strategy, with a final score of 0.95. This result reflected the combination of a short-term implementation period (720 hours), a high cost (3 units), and favorable performance (90%). Strategies Er-1—installation of UPS systems—and F-7—filling the reservoirs before the occurrence of a flood—were ranked next, both with a score of 0.83. A notable feature of these strategies is their short implementation times (6 and 48 hours, respectively), combined with stable performance levels (80% and 79.5%, respectively). This finding highlights the importance of rapidly implementable strategies with substantial effects under crisis conditions. By contrast, strategy O-6—securing and fencing the areas surrounding the reservoirs—has a score of 0.80, with a high cost (3 units), a short implementation time (24 hours), and acceptable performance (78%). In the middle range of the ranking, strategies such as F-15—installation of a standby pump—have a final score of 0.71. This strategy has a short implementation time (48 hours) and stable performance (70.5%). Although such strategies have a lower priority, they nevertheless remain suitable options for implementation.

Furthermore, strategy O-3—regular training of personnel and raising citizens' awareness regarding emergency response—was classified as a second-priority strategy, with a score of 0.64, despite its short-term feasibility (720 hours) and moderate cost (5 units). This strategy's role in establishing long-term network performance stability through enhanced human capital is strategic and undeniable. Its implementation should therefore be regarded as an enabling prerequisite for other high-priority technical strategies. Finally, strategies such as F-1—implementing permeable paving on street surfaces above the infrastructure—with a score of 0.37, were assigned to the third-priority category. This was due to their semi-stable performance (30%) and their lack of a substantial effect on overall network performance, even though they may be considered low-cost strategies.

### Study limitations

The limitations of this study include limited access to the expert population and technical constraints that prevented a comprehensive assessment of all bottleneck zones.

### Suggestions for future research

The following suggestions are proposed for future studies:

- Conducting a comparative study of other bottleneck zones and performing an integrated analysis of the entire water distribution network to identify performance patterns and interactions among its different components;

- Combining multi-criteria decision-making methods with complementary assessment techniques to improve the accuracy and reliability of the process of selecting optimal network-management strategies; and

- Developing a dynamic model for the quantitative and qualitative assessment of network stability under different conditions and changing circumstances.

## Conclusion

This study can substantially contribute to raising awareness among researchers and decision-makers, particularly managers of the Mazandaran Water and Wastewater Company, regarding existing challenges. It can also assist them in identifying appropriate measures to improve prevention and preparedness for potential future crises and in implementing strategies that enhance the resilience of water and wastewater infrastructure. One of the main achievements of this study was the development of a comprehensive framework for prioritizing and selecting resilience-enhancing strategies in urban water supply networks. Given limited resources and the economic infeasibility of strengthening all components of a water supply system, this study developed a framework and identified the measures needed to classify and prioritize resilience strategies for one of the bottleneck zones of the Babol water supply network—Zone X.

Accordingly, after identifying and categorizing the hazards—including floods, earthquakes, deterioration, pressure differences, and water-quality threats—based on their frequency of occurrence and the weaknesses of the network, a set of strategies was identified and prioritized according to three indicators: implementation time, implementation cost, and impact on the overall performance of the network.

The results show that, among the 63 strategies proposed for Zone X, 4 strategies were assigned to the first-priority category, 56 strategies to the second-priority category, and 3 strategies to the third-priority category. As shown in Table 2, some strategies can activate several sub-capacities under different resilience capacities. However, this does not necessarily indicate that one strategy is superior to another. The key consideration is how the distribution network's strategy affects the overall performance—

namely, the water-delivery capacity—regardless of how many resilience capacities or sub-capacities it activates.

Moreover, based on the strategies presented in Table 7 and assigned to the first-priority category, the existence of non-revenue water in this bottleneck zone can be clearly inferred. Therefore, to reduce water losses and improve the performance of the water supply system, the necessary measures should be implemented in accordance with the explanations provided for the relevant strategies.

It should be noted that all the strategies identified and extracted through interviews and field investigations were considered necessary for the target zone; therefore, removing any of them is not recommended.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

In this study, all ethical principles were observed. No experiments on human or animal samples were conducted. Therefore, no ethical approval code was needed.

### Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران

مقاله پژوهشی

# چارچوب اولویت‌بندی راهکارهای تاب‌آوری سیستم آب‌رسانی با استفاده از روش‌های بهترین-بدترین و تحلیل رابطه خاکستری: نمونه موردی شهر بابل

زهرا محمّدپور[۱]، *محمّدعلی نکوئی[۲]، هادی ذاکری خطیر[۲]

۱. گروه مدیریت بحران، مجتمع دانشگاهی مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
۲. مجتمع دانشگاهی مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Mohammadpour, Z., Nekooie, M. A., & Zakery Khatir, H. (2026). [Framework for Prioritizing Water Supply System Resilience Solutions Using Best-worst Method and Gray Relation Analysis: A Case Study of Babol City, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *16*(2):264-293. https://doi.org/10.22034/DPMK.16.2.969.1

https://doi.org/10.22034/DPMK.16.2.969.1

## چکیده

**زمینه و هدف** تأکید بر ایجاد زیرساخت‌های تاب‌آور، به‌دلیل تأثیر فزاینده مخاطرات بر جامعه، امری ضروری است. مطالعات و اقدامات شرکت‌های آب و فاضلاب نقش اساسی در تقویت تاب‌آوری زیرساخت‌ها ایفا می‌کنند. بااین‌حال، بهبود این شرایط با چالش‌هایی مانند اولویت‌های رقابتی و محدودیت منابع مواجه است. هدف این پژوهش ارائه روشی پویا برای رتبه‌بندی راهکارهای بهینه، تعیین سطح واقعی راهکارهای مختلف تاب‌آورساز و کمک به تخصیص صحیح منابع براساس اولویت‌های تعیین‌شده جهت تداوم کارکرد سیستم آب‌رسانی است.

**روش** در این مقاله، چارچوبی برای تعیین و اولویت‌بندی راهکارهای بهینه ارتقای تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهر بابل ارائه شده است. این چارچوب شش دسته تهدید شامل سیل، زلزله، فرسودگی و غیره را در دو دسته دارایی مخزن و خطوط لوله بررسی می‌کند. روش کار شامل تحلیل رابطه خاکستری، نمره‌دهی خبرگان براساس مؤلفه‌های برگرفته از مدل ERASMUS، استفاده از روش بهترین-بدترین، و همچنین شناسایی نقاط ضعف شبکه براساس بازدید میدانی است. ازنظر روش‌شناسی، پژوهش کاربردی بوده و گردآوری اطلاعات از طریق منابع کتابخانه‌ای و مصاحبه انجام شده است.

**یافته‌ها** نتایج نشان می‌دهد از میان ۶۳ راهکار پیشنهادی برای ارتقای تاب‌آوری زون گلوگاهی، پس از تحلیل و با درنظر گرفتن مؤلفه‌های تصمیم‌گیری زمان (ضریب اهمیت ۰/۲۲)، هزینه (۰/۰۷) و عملکرد (۰/۷۱)، چهار راهکار به‌عنوان گزینه‌های با بالاترین اولویت و اهمیت بسیار زیاد برای این شبکه تعیین شدند.

**نتیجه‌گیری** زون گلوگاهی نیازمند توجه ویژه و اجرای راهکارهای منتخب اولویت‌دار است تا احتمال آسیب‌پذیری کاهش یابد، میزان تاب‌آوری افزایش پیدا کند و درنهایت تداوم کارکرد شبکه در برابر مخاطرات تضمین شود.

**کلیدواژه‌ها** ارتقای سطح تاب‌آوری، تداوم کارکرد، سیستم‌های آب‌رسانی، راهکارهای بهینه تاب‌آوری، اولویت‌بندی راهکارها، تحلیل خاکستری (GRA)، روش بهترین-بدترین (BWM)

**اطلاعات مقاله:**
**تاریخ دریافت:** ۱۸ تیر ۱۴۰۴
**تاریخ پذیرش:** ۰۳ شهریور ۱۴۰۴
**تاریخ انتشار:** ۱۲ فروردین ۱۴۰۵

* **نویسنده مسئول:**
**دکتر محمّدعلی نکوئی**
**نشانی:** تهران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مهندسی و پدافند غیرعامل.
**تلفن:** ۲۲۹۳۱۳۶۷ (۲۱) ۹۸+
**پست الکترونیکی:** ali.nekooie@gmail.com

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران

## مقدمه

به‌دلیل تأثیرات شدید حاصل از بلایای طبیعی و انسانی، تاب‌آوری زیرساخت‌ها به‌عنوان یکی از مفاهیم حیاتی که مدیریت مؤثر خطر این بلایا را تسهیل می‌کند، توجه بیشتری از سوی پژوهشگران به خود جلب کرده است (سان و ژانگ، ۲۰۲۰؛ الکادی و همکاران، ۲۰۲۴). زیرساخت‌ها برای ارائه خدمات به کاربران نهایی (مصرف کنندگان) وجود دارند و تاب‌آوری تضمین می‌کند این خدمت‌دهی (کارکرد) حتی در شرایط نامطلوب نیز تداوم دارد (لوین و همکاران، ۲۰۲۴). تداوم کارکرد به معنی توانایی تولید یا ارائه خدمت توسط یک مرکز زیرساختی در چارچوب زمانی مورد پذیرش، قابل‌قبول و درحد ظرفیت ازپیش‌تعیین‌شده، حین و پس از وقوع تهدید یا حادثه است (سازمان پدافند غیرعامل، ۱۴۰۲). در نتیجه وجود زیرساخت‌های تاب‌آور برای شهرها در راستای پایداری و بازیابی سریع عملکردهای شهری بسیار ضروری است (علوی و همکاران، ۲۰۲۰).

مطالعات بر روی تاب‌آوری، دیدگاه‌های نوآورانه و ابزارهای ارزشمندی را معرفی کرده‌اند که نه‌تنها واکنش اضطراری و مقابله با پیامدهای یک فاجعه را بهبود می‌بخشد، بلکه بر اهمیت برنامه‌ریزی پیش‌بینی‌کننده برای آمادگی و فعالیت‌های کاهش خطر و اثرات (برنامه تداوم کارکرد ) تأکید می‌کند (الکادی و همکاران، ۲۰۲۴).

سیستم‌های آب‌رسانی شهری، مانند سایر زیرساخت‌های حیاتی، از اجزای گوناگون و بهم پیوسته تشکیل شده و به‌عنوان زیرساختی حیاتی که عملکردهای اجتماعی متعدد جامعه را حفظ می‌کند، در برابر عوامل تنش‌زای خارجی و داخلی همواره آسیب‌پذیر هستند. این عوامل تنش‌زا (تصویر شماره ۱)، باتوجه‌به تجارب اخیر که نشان‌دهنده عدم توانایی محافظت و مصونیت سیستم‌های زیرساختی آب فعلی در برابر همه رویدادهای مخرب می‌باشد، به طیفی از رویدادهای آبشاری و پیامدهای بالقوه و درنتیجه عملکرد غیرقابل‌اعتماد برای یک سیستم آب آشامیدنی در سه بخش تأمین، تصفیه و توزیع منجر می‌شود (راکستاد و همکاران، ۲۰۲۳؛ بخشی و همکاران، ۲۰۲۰؛ لورنز و پلز، ۲۰۲۰؛ شین و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش حساسیت سیستم در برابر خسارت و اختلال، همواره دغدغه اساسی مهندسان و مدیرانی است که مسئول طراحی، بهره‌برداری و حفاظت سیستم‌ها هستند (یزدانی و همکاران، ۲۰۱۱).

تاب‌آوری به‌عنوان رویکردی است که قابلیت اطمینان خدمات را در هر نقطه از زنجیره خدمات تقویت کرده و به‌نوبه‌خود ظرفیت سیستم را برای تداوم ارائه سطح توافق‌شده از خدمات به‌طور قابل‌اعتماد، علی‌رغم وقوع شوک‌ها، بهبود بخشیده و به آن پاسخ می‌دهد، اما باتوجه‌به عدم رعایت الزامات پدافند غیرعامل در طراحی و اجراهای زیرساختی و همچنین فرسوده بودن سیستم‌های آب‌رسانی شهری کشور، اطمینان از تاب‌آور بودن آن‌ها به‌گونه‌ای که بتوان توزیع کارآمد، قابل‌اعتماد و عادلانه را برای شهروندان فراهم کند، کار کوچکی نیست (استیپ و همکاران، ۲۰۱۹؛ کروزیر و همکاران ، ۲۰۲۴؛ پورطبری و پورطبری، ۱۳۹۶).

در سال‌های اخیر، توجه مدیران به بحث تاب‌آورسازی سیستم‌های آب‌رسانی به‌عنوان جزء لاینفک زندگی در جوامع بشری، بدین منظور که ضمن تحمل کم‌ترین آسیب ممکن، در سریع‌ترین زمان و با حداقل هزینه و مداخله انسانی به حالت سرویس‌دهی نرمال خود بازگردند، معطوف شده است (جبلی، ۱۳۹۹؛ محمدپور و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین باتوجه‌به اینکه تصمیم‌های مدیریتی و انتخاب سرمایه‌گذاری در هر استراتژی، حتی در بهترین شرایط، وظایفی چالش‌برانگیز است (تورتیلا، ۲۰۱۶)، در این پژوهش سعی شده است چارچوبی برای اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای تاب‌آوری ارائه گردد. در این راستا، مراجع علمی متعددی به اهمیت و ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌ها در مقابل انواع حوادث پرداخته‌اند که با مروری بر آن‌ها فقدان ارائه چارچوبی جهت اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای تاب‌آوری سیستم‌های آب‌رسانی (که هدف این پژوهش است) به وضوح احساس می‌شود. در ادامه، ضمن ارائه سؤالات تحقیق، به مروری بر مهم‌ترین مطالعات صورت‌گرفته در زمینه اولویت‌بندی راهکارهای تاب‌آورساز در حوزه‌های گوناگون پرداخته شده است.

- چه راهکارهایی و ذیل کدام تهدیدات، جهت ارتقای تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهر بابل قابل‌ارائه می‌باشد؟

- چه مؤلفه‌هایی جهت سنجش راهکارهای بهینه افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع آب وجود دارد؟

- با چه روشی می‌توان به اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای تاب‌آوری شبکه توزیع آب پرداخت؟

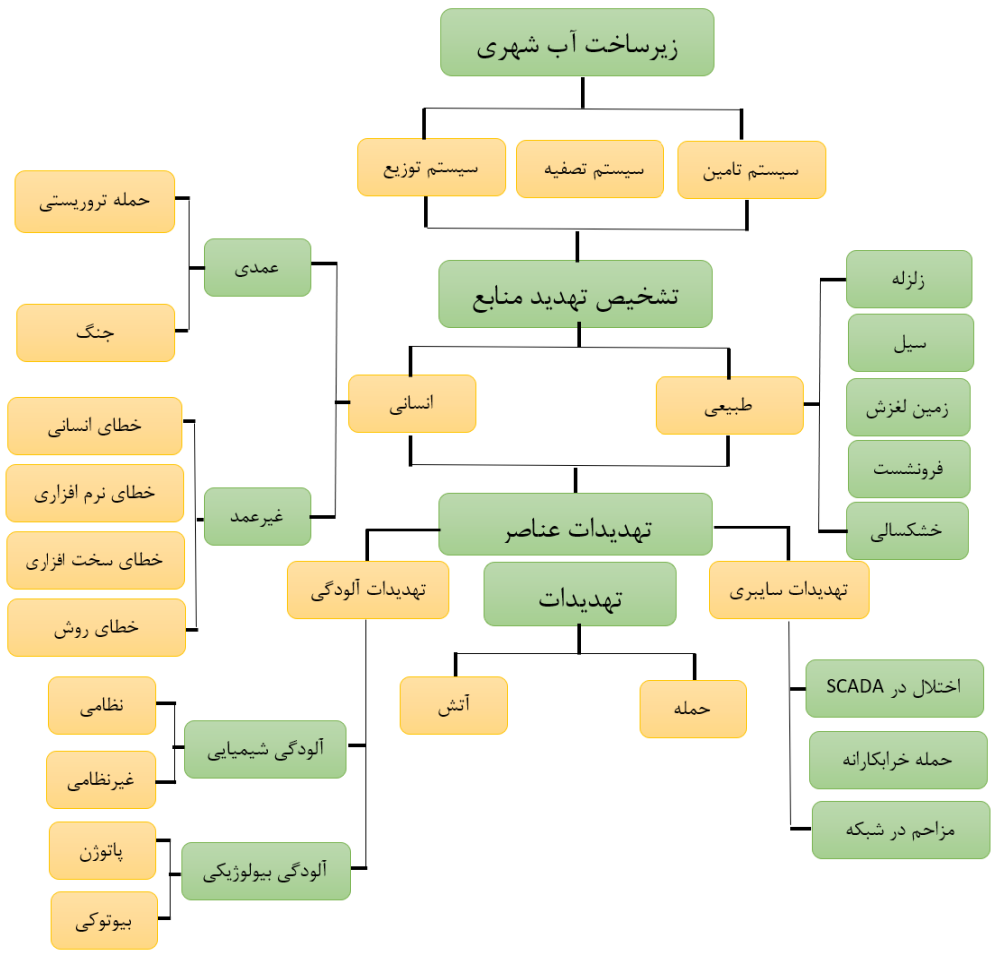
پیری و جعفری (۲۰۲۳)، در پژوهشی با هدف شناسایی و اولویت‌بندی راهبردهای تاب‌آوری روان‌شناختی منابع انسانی در سازمان‌های آموزشی، به نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند و با استفاده از تکنیک گلوله برفی بصورت کمی و کیفی پرداختند. جامعه آماری در بخش کمی، ۶۷ نفر از مدیران ارشد و میانی و کارکنان ستادی دانشگاه ارومیه با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی بود. داده‌های به‌دست‌آمده حاصل از مصاحبه‌ها و تحلیل با نرم‌افزار MAXQDA نسخه ۲۰۲۰ در بخش کیفی، به استخراج ۱۴ راهبرد تاب‌آوری روانشناختی منابع انسانی منجر شد و تحلیل بخش کمی با استفاده از روش دیمتل انجام شد که براساس این تحلیل مدیریت تنش، اهمیت بازخورد، ارتقای کیفیت زندگی کاری و ارتباطات اثربخش، گویای راهبردهایی که بیشترین نفوذ را بر روی سایر راهبردها دارند، بودند. همچنین چابکی استراتژیک، توانمندسازی ساختاری، مدیریت افقی و

حمایت سازمانی ادراک‌شده نیز نسبت به سایر راهبردها تحت نفوذ بیشتری قرار می‌گیرند. نهایتاً توانمندسازی روان‌شناختی، مدیریت افقی، مدیریت تنش و ارتباطات اثربخش راهبردهای منتخبی بودند که هم نفوذکننده و هم تحت نفوذ سایر راهبردها می‌باشند.

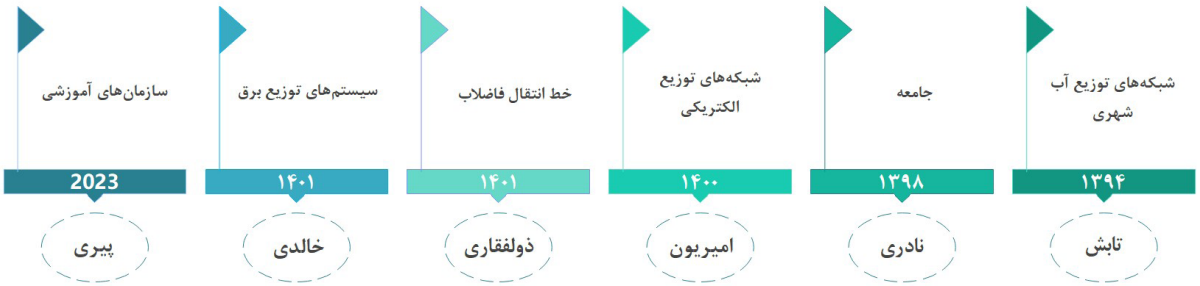
خالدی و همکاران (۱۴۰۱)، در مطالعه خود تمرکز خود را بر بخش توزیع (به‌علت عدم توجه کافی به سیستم‌های توزیع برق به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین سیستم‌های انرژی) معطوف کردند. همچنین در این مقاله، اشاره به مهم‌ترین راهکارهای تاب‌آور شامل ۱.استفاده از تولید پراکنده، ۲.ایجاد جزیره عمدی، ۳. تعیین بارهای حیاتی، ۴. بازآرایی بهینه شبکه توزیع، ۵. شبکه‌های هوشمند و ۶. بهینه‌سازی مقاوم، شد. در ادامه باتوجه‌به اینکه راهکارهای ارائه‌شده نسبت به روش‌های سنتی بهره‌برداری سیستم‌های انرژی هزینه‌برتر هستند و کمتر مورداستقبال سیاستگذاران این حوزه قرار می‌گیرند به آیندگان پیشنهاد دادند که با استفاده ترکیبی این راهکارها، می‌توان هزینه‌ها را کاهش داده و امکان دستیابی به سیستم‌های انرژی هوشمند تاب‌آور را فراهم کرد.

ذولفقاری و همکاران (۱۴۰۱)، در مقاله‌ای به‌منظور ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت خط انتقال فاضلاب کلان‌شهر تهران به تصفیه‌خانه فیروز بهرام، باتوجه‌به انواع تهدیدات محتمل بر این زیرساخت، به ارائه فاکتورهای مؤثر بر تاب‌آوری پرداختند. سپس با کمک روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت، به بومی‌سازی آن برای خط انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه فیروز بهرام پرداخت. در روش استفاده‌شده علاوه‌بر به‌دست آوردن وضع موجود تاب‌آوری زیرساخت موردنظر در مرحله ارزیابی ساختاری (گام ششم) به ارائه راهکار در جهت تاب‌آورسازی زیرساخت و ارزیابی مجدد تاب‌آوری پرداخته شد. سپس با محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری بهینه OR، «طرح اجرای بای‌پس فاضلاب به رودخانه کن»، پیشنهاد شد.

امیریون و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهش خود یک روش جدید برای اولویت‌بندی راهکارهای بهبود تاب‌آوری در شبکه‌های توزیع الکتریکی به‌عنوان آخرین حلقه از زنجیره تأمین انرژی در سیستم قدرت، پیشنهاد دادند. در این راستا، ابتدا به تعریف مجموعه‌ای از راهکارهای کاندیدا جهت بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع در مقابل حادثه، پرداخته و سپس به تعیین ارزش هر کدام از راهکارها با استفاده از شاخص سود به هزینه باتوجه‌به میزان بهبود تاب‌آوری




**تصویر ۱.** خلاصه‌ای از فرایند روش تحقیق (محمدپور، ۱۴۰۳)




**تصویر ۲.** خلاصه اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای تاب‌آوری در حوزه‌های مختلف

حاصل از اجرای راهکار و هزینه پیاده‌سازی مربوطه پرداختند. درنهایت، راهکارها برحسب شاخص سود به هزینه اولویت‌بندی می‌شوند. در جهت اثبات کارایی مناسب روش پیشنهادی، روش مذکور با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بر روی شبکه استاندارد ۳۳ باسه IEEE پیاده‌سازی گردید.

نادری و محصولی (۱۳۹۸)، طی پژوهشی به توسعه بهینه‌سازی شاخص تاب‌آوری در چارچوب ارزیابی تاب‌آوری Rtx، در دانشگاه صنعتی شریف پرداختند. این شاخص بر مبنای هزینه کل تحمیلی به جامعه در اثر رویداد خطر محاسبه می‌شود. شبیه‌سازی توزیع احتمال هزینه‌های تحمیلی به جامعه در یک تحلیل نمونه‌گیری مونت کارلو، به‌منظور محاسبه شاخص انجام شد. این هزینه‌ها ناشی از ۱. تعمیر و جایگزینی سازه‌ها و زیرساخت‌های آسیب‌دیده، ۲. جراحات و مرگ‌ومیر، ۳. ازکارافتادگی زیرساخت‌ها، ۴. اختلال در کسب وکار، ۵. افت کیفیت زندگی آسیب‌دیدگان و ۶. اسکان موقت و پدیده‌های متعدد دیگری می‌باشند که توسط مدل‌سازی عامل بنیان در طی دوره زمانی بازیابی جامعه شبیه‌سازی می‌شوند. با بیشینه‌سازی شاخص تاب‌آوری که به کمینه‌سازی هزینه کل تحمیلی به جامعه منجر می‌گردد، اولویت‌های بهینه انجام عملیات تعمیر و بازسازی زیرساخت‌ها به‌صورت اعداد صحیح تعیین می‌شوند. برای انجام این بهینه‌سازی، از روش الگوریتم ژنتیک در این پژوهش بهره گرفته شد. نوآوری پژوهش انجام‌شده، بهینه‌سازی غیرمتمرکز بر مبنای شبیه‌سازی احتمالاتی رویدادهایی است که در طول دوره بازیابی زیرساخت‌های به هم وابسته روی می‌دهند. نتایج بهینه‌سازی حاکی از کاهش ۲ درصد هزینه کل تحمیلی به جامعه است که به صرفه‌جویی ۳ میلیون دلاری منجر می‌شود. این بهبود بدون استفاده از منابع جدید و تنها با برنامه‌ریزی بهینه فرایند بازیابی حاصل می‌شود. این چارچوب به‌عنوان یک سیستم تصمیم‌یار قادر است اثرات تصمیمات مختلف بر تاب‌آوری را ارزیابی و با معرفی تصمیمات بهینه و اصلاح تصمیم، این اثرات را بهینه نماید.

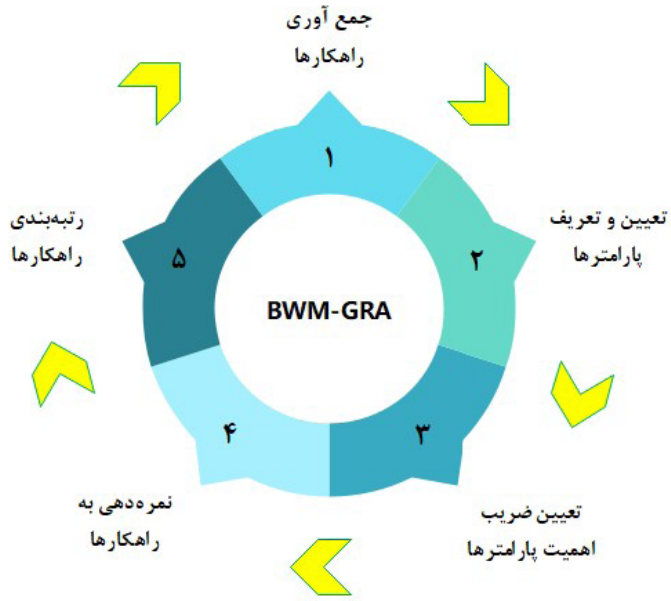
تابش و همکاران (۱۳۹۴)، در مقاله خود، الگویی برای انتخاب مناسب‌ترین راهبرد مدیریت مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه ارائه دادند. همچنین به پیاده‌سازی الگو ارائه‌شده برای شهر تهران، به‌منظور آزمودن کارآیی آن پرداختند. راهبردهای منتخب عبارت‌اند از فرهنگ‌سازی در بین مصرف‌کنندگان (اجرای برنامه‌های آموزشی و تبلیغاتی)، کاهش آب بدون درآمد، افزایش آب‌بها و استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف.

معیارهای مورداستفاده شامل: ۱. هزینه، ۲. زمان، ۳. رضایت مشترکین، ۴. میزان آب به حساب نیامده و تأثیر اجرای طرح در کاهش مصرف آب، به‌منظور امتیازدهی به راهبردها استفاده شد. همچنین بر روی اوزان نظرهای تصمیم‌گیرندگان و شکل اعداد فازی مورداستفاده، تحلیل حساسیت صورت گرفته شد (به‌منظور بررسی تأثیر عدم قطعیت‌های موجود در مدل، بر پاسخ نهایی). در نهایت به‌عنوان مناسب‌ترین راهبرد از دیدگاه تصمیم‌گیرندگان، راهبرد کاهش آب بدون درآمد شناخته شد. در دیاگرام تصویر شماره ۲ می‌توان حوزه‌های گوناگون کار در این زمینه را مشاهده کرد:

## روش

سازوکار پیشنهادی در این پژوهش با استناد به یافته‌های پژوهش پیشین با عنوان «تدوین مدل ترکیبی تاب‌آوری در شبکه آب‌رسانی شهری-مطالعه موردی: شهر بابل» که ضرورت افزایش تاب‌آوری زون X از شبکه توزیع آب شهر بابل را به‌عنوان یکی از زون‌های گلوگاهی این شبکه تأیید می‌نماید، طراحی شده است. این زون متشکل از یک مخزن، یک ایستگاه پمپاژ آب، یک تسویه خانه و ۱۰۲۵۷ متر لوله با جنس‌های آزبست، پلی‌اتیلن، PVC، استیل و چدن داکتیل می‌باشد. روش اجرایی پژوهش حاضر که براساس یک چارچوب سیستماتیک و گام‌به‌گام طراحی شده به این صورت است که راهکارهای ارتقای تاب‌آوری شبکه توزیع را (که در شش دسته سلامت آب، فرسودگی، اختلاف فشار، سیل، زلزله و سایر راهکارهای لازم ارائه‌شده) با استفاده از سه پارامتر کلیدی زمان، هزینه و عملکرد ارزیابی می‌کند. فرایند تحلیل با استفاده از ۲ روش ترکیبی شامل بهترین-بدترین یا BWM[1] (جهت تعیین میزان اهمیت پارامترهای ارزیابی) و تحلیل رابطه خاکستری یا GRA[2] (به‌منظور رتبه‌بندی نهایی راهکارها براساس

1. Best Worst Metod (BWM)
2. Grey Rational Analysis (GRA)




**تصویر ۳.** چارچوبی از فرایند روش تحقیق

امتیازات کسب‌شده)، که مطابق با اهداف این پژوهش ایجادشده، در پنج گام عملیاتی در تصویر شماره ۳، قابل‌مشاهده می‌باشد.

در این پژوهش، اجرای روش تحلیل رابطه خاکستری با استفاده از نرم‌افزار تخصصی GRA Solver نسخه ۲۰۱۵ صورت گرفت. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پایه‌ای تئوری سیستم‌های خاکستری، امکان نرمال‌سازی داده‌ها و محاسبه دقیق تأثیر ضرایب ارتباط خاکستری را فراهم می‌کند. از مهم‌ترین قابلیت‌های این نرم‌افزار، پشتیبانی از ورود خودکار داده‌ها از فایل اکسل و انجام محاسبات پیچیده برای دستیابی به نتایج عینی و قابل‌اتکا در رتبه‌بندی نهایی راهکارها می‌باشد. از محدودیت‌های آن نیز می‌توان به سقف تحلیل حداکثر ۸۲ گزینه و ۸۲ معیار اشاره کرد.

باتوجه‌به تمرکز این مطالعه بر تنها یک زون گلوگاهی شبکه توزیع آب بابل، جامعه خبرگان در سه گروه تخصصی (طراحان شبکه تویع آب و فاضلاب، مدیران آبفا و کارشناسان مدیریت بحران و پدافند غیرعامل) انتخاب شدند که همگی شناخت مستقیم و عمیقی از زون موردمطالعه داشتند. تعداد متخصصین برای این سطح از مطالعه، کاملاً کافی و متناسب تشخیص داده شد.

## یافته‌ها

### گام اول: جمع‌آوری راهکارها

به‌منظور شناسایی و استخراج راهکارهای مؤثر در افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهر بابل، از رویکردی ترکیبی شامل بررسی‌های میدانی، مصاحبه‌های تخصصی و تحلیل منابع علمی بهره گرفته شد. در این راستا، سه منبع داده‌ای کلیدی مورد استفاده قرار گرفت:

۱. بازدید میدانی از دارایی‌های شبکه توزیع آب، به‌منظور ارزیابی وضعیت موجود و شناسایی چالش‌های عملیاتی،

۲. مصاحبه با کارشناسان مدیریت بحران و پدافند غیرعامل و مدیران حوزه آب و فاضلاب استان مازندران، جهت بهره‌گیری از دانش تجربی و دیدگاه‌های فنی،

۳. مطالعه و تحلیل منابع علمی ازجمله کتب، مقالات پژوهشی و پایان‌نامه‌های مرتبط، برای شناسایی راهکارهای پیشنهادی مبتنی بر مستندات علمی.

برآیند این فرایند به شناسایی ۶۳ راهکار در قالب ۶ دسته‌بندی مجزا منجر شد که هریک باتوجه‌به یکی از پنج مخاطره اساسی شامل سلامت آب، فرسودگی، اختلاف فشار، سیل و زلزله و دسته ششم (سایر) که باتوجه‌به نقاط ضعف مشاهده‌شده طی بازدید میدانی انجام‌شده از زیرساخت، تدوین گردید (جداول شماره ۱ و ۲، راهکارهای ارائه‌شده را به‌صورت کدگذاری‌شده نشان می‌دهد). از منظر طبقه‌بندی دارایی‌ها، شبکه توزیع آب در این پژوهش به دو بخش اصلی ۱. مخازن (شامل مخازن ذخیره، ایستگاه پمپاژ و تصفیه‌خانه) و ۲. خطوط لوله، (شامل لوله‌های انتقال و توزیع و تمامی اتصالات وابسته) تقسیم شده است. این چارچوب طبقه‌بندی، مبنای تحلیل‌های بعدی در فرآیند اولویت‌بندی راهکارهای تاب‌آوری قرار گرفته است.

### گام دوم: تعیین و تعریف پارامترها

در این مرحله، پس از بررسی‌های کارشناسی و تبادل نظر با متخصصان حوزه آب و فاضلاب و همچنین الهام گرفتن از متون

**جدول ۱.** امتیاز نهایی برحسب رتبه رابطه خاکستری

| امتیاز نهایی | عملکرد | هزینه | زمان | نتیجه | امتیاز نهایی | عملکرد | هزینه | زمان | نتیجه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۵۸ | ۵۰ | ۳/۵ | ۳۳۶ | F-17 | ۰/۹۵ | ۹۰ | ۳ | ۷۲۰ | Ex-5 |
| ۰/۵۸ | ۷۰/۵ | ۸ | ۶۴۸۰ | Er-19 | ۰/۸۳ | ۸۰ | ۲ | ۶ | Er-1 |
| ۰/۵۸ | ۵۰ | ۱ | ۱۴۴۰ | F-12 | ۰/۸۳ | ۷۹/۵ | ۱/۷۵ | ۴۸ | F-7 |
| ۰/۵۷ | ۶۰ | ۴ | ۲۸۸۰ | Er-4 | ۰/۸۰ | ۷۸ | ۳ | ۲۴ | O-6 |
| ۰/۵۶ | ۴۰ | ۲/۵ | ۴۸ | F-14 | ۰/۷۹ | ۸۰ | ۳ | ۷۲۰ | Er-13 |
| ۰/۵۴ | ۷۰ | ۹ | ۱۳۱۴۰ | P-4 | ۰/۷۹ | ۸۰ | ۴ | ۷۲۰ | O-1 |
| ۰/۵۴ | ۵۰ | ۶ | ۱۴۴۰ | Ex-2 | ۰/۷۸ | ۸۰ | ۴/۵ | ۷۲۰ | F-4 |
| ۰/۵۳ | ۵۵ | ۵/۵ | ۲۸۸۰ | H-4 | ۰/۷۸ | ۷۸ | ۵ | ۷۲ | O-11 |
| ۰/۵۳ | ۴۰ | ۳/۵ | ۷۲۰ | F-2 | ۰/۷۸ | ۷۸ | ۴ | ۳۳۶ | H-7 |
| ۰/۵۳ | ۴۰ | ۴ | ۷۲۰ | Er-17 | ۰/۷۷ | ۷۸ | ۶ | ۱۶۸ | O-4 |
| ۰/۵۲ | ۴۰ | ۱ | ۲۱۶۰ | Er-7 | ۰/۷۶ | ۸۰ | ۳ | ۲۱۶۰ | P-1 |
| ۰/۵۲ | ۶۰/۵ | ۶/۵ | ۵۷۶۰ | Er-3 | ۰/۷۵ | ۷۵/۵ | ۲ | ۷۲۰ | H-2 |
| ۰/۵۰ | ۶۰ | ۸ | ۷۹۲۰ | Er-9 | ۰/۷۴ | ۷۰ | ۱،۵ | ۲۴ | Er-10 |
| ۰/۴۹ | ۶۰ | ۸ | ۸۷۶۰ | H-8 | ۰/۷۳ | ۷۶ | ۵/۷۵ | ۷۲۰ | O-7 |
| ۰/۴۹ | ۵۰ | ۳/۵ | ۵۰۴۰ | Er-5 | ۰/۷۲ | ۷۰ | ۲/۷۵ | ۷۲ | F-8 |
| ۰/۴۹ | ۵۰ | ۵/۵ | ۴۳۲۰ | O-8 | ۰/۷۱ | ۷۰ | ۲ | ۵۰۴ | F-16 |
| ۰/۴۸ | ۵۰ | ۴/۵ | ۵۰۴۰ | Er-15 | ۰/۷۱ | ۷۰/۵ | ۳ | ۳۶۰ | F-5 |
| ۰/۴۸ | ۵۰ | ۷ | ۴۳۲۰ | Er-11 | ۰/۷۱ | ۷۰/۵ | ۶/۵ | ۴۸ | F-15 |
| ۰/۴۸ | ۱۰ | ۳ | ۷۲ | H-5 | ۰/۶۹ | ۷۰ | ۴ | ۷۲۰ | F-6 |
| ۰/۴۸ | ۵۷ | ۶ | ۸۷۶۰ | O-2 | ۰/۶۴ | ۶۵ | ۵ | ۷۲۰ | O-3 |
| ۰/۴۷ | ۳۰ | ۲/۵ | ۲۱۶۰ | F-10 | ۰/۶۴ | ۷۷ | ۴ | ۸۷۶۰ | O-10 |
| ۰/۴۷ | ۵۰ | ۷ | ۵۷۶۰ | Ex-1 | ۰/۶۳ | ۶۰/۵ | ۶ | ۱۶۸ | P-3 |
| ۰/۴۴ | ۴۰ | ۸ | ۴۳۲۰ | Er-12 | ۰/۶۳ | ۵۵/۵ | ۳ | ۷۲۰ | F-9 |
| ۰/۴۳ | ۰ | ۱ | ۲۱۶۰ | Er-6 | ۰/۶۲ | ۶۰/۵ | ۳/۵ | ۷۲۰ | F-3 |
| ۰/۴۳ | ۴۰/۵ | ۸/۵ | ۵۷۶۰ | Er-14 | ۰/۶۲ | ۶۰/۵ | ۳/۵ | ۷۲۰ | Ex-4 |
| ۰/۴۱ | ۱۰ | ۲/۵ | ۲۸۸۰ | Er-2 | ۰/۶۲ | ۶۰/۵ | ۱/۵ | ۱۴۴۰ | F-11 |
| ۰/۴۱ | ۴۰/۵ | ۷/۵ | ۸۶۴۰ | Er-18 | ۰/۶۱ | ۶۰ | ۵ | ۷۲۰ | H-3 |
| ۰/۴۰ | ۲۰ | ۴ | ۴۳۲۰ | H-1 | ۰/۶۱ | ۷۰ | ۶ | ۴۳۲۰ | H-6 |
| ۰/۳۸ | ۳۰ | ۵ | ۸۷۶۰ | Er-8 | ۰/۶۰ | ۵۵/۵ | ۳ | ۷۲۰ | O-9 |
| ۰/۳۷ | ۳۰ | ۵/۵ | ۹۳۶۰ | F-1 | ۰/۶۰ | ۶۰ | ۲ | ۲۱۶۰ | F-13 |
| ۰/۳۷ | ۳۰ | ۸/۵ | ۸۷۶۰ | O-5 | ۰/۶۰ | ۷۰/۵ | ۵/۵ | ۵۷۶۰ | P-2 |
| | | | | | ۰/۵۹ | ۷۰ | ۴/۵ | ۶۴۸۰ | Er-16 |




**تصویر ۴.** پارامترهای تعیین‌شده ارزیابی راهکارها

علمی نظیر مدل ERASMUS[3]، معیارهای گزینش بهترین راهکار به‌منظور تقویت تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهر بابل شناسایی و تدوین گردید. این معیارها شامل سه پارامتر اصلی و مؤثر (تصویر شماره ۴) در ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارها هستند که تأثیر مستقیمی بر عملکرد کلی شبکه و تاب‌آوری آن دارند:

### زمان لازم برای اجرا

این پارامتر به‌طور مستقیم با تاب‌آوری اجتماعی در ارتباط است و نشان‌دهنده مدت‌زمان موردنیاز برای پیاده‌سازی هر راهکار به‌منظور ارتقای عملکرد و تاب‌آوری شبکه توزیع آب می‌باشد. این شاخص، از آن‌رو اهمیت دارد که طول مدت اجرای هر راهکار می‌تواند بر پایداری اجتماعی و مقاومت جامعه در برابر بحران‌ها تأثیر بگذارد.

### هزینه لازم برای اجرا

این شاخص به بررسی منابع مالی موردنیاز برای پیاده‌سازی هر راهکار اختصاص دارد و نشان‌دهنده میزان بودجه تخصیص‌یافته جهت عملیاتی کردن هر راهکار است.

### فعال‌سازی زیرظرفیت‌ها (عملکرد)

این معیار به ارزیابی تأثیر هر راهکار بر عملکرد کلی شبکه توزیع آب یا به‌عبارتی فعال نمودن زیرظرفیت‌های ذیل هر ظرفیت به‌ازای تأثیری که راهکار بر عملکرد کلی شبکه توزیع آب می‌گذارد، می‌پردازد. به‌عبارت‌دیگر، این شاخص میزان افزایش بهره‌وری و کارآیی کلی شبکه را باتوجه‌به اجرای هر راهکار اندازه‌گیری می‌کند.

در ادامه، به‌طور تفصیلی به تعریف و توضیح شاخص‌های مرتبط با هر پارامتر پرداخته خواهد شد تا درک واضح‌تری از نحوه ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارها فراهم گردد.

### بررسی معیار زمان

در این بخش، معیار زمان براساس مدت‌زمان موردنیاز جهت اقدام و عملیاتی‌سازی هر راهکار در زون‌های گلوگاهی شبکه توزیع آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌منظور تعیین زمان‌بندی اجرای هر راهکار، سه دسته‌بندی زمانی در نظر گرفته شده است:

کوتاه‌مدت (۰ تا ۱ ماه)،

میان‌مدت (۱ تا ۶ ماه)،

بلندمدت (۶ تا ۱۸ ماه).

این تقسیم‌بندی‌ها به‌منظور ارائه ارزیابی دقیق و جامع از زمان‌بندی اجرای راهکارها و تأثیر آن‌ها بر بهبود عملکرد شبکه در نظر گرفته شده‌اند. نمره‌دهی به هریک از مؤلفه‌ها براساس ساعت انجام می‌شود که مطابق با جدول شماره ۳ تعیین گردیده است.

### بررسی معیار هزینه

به‌منظور برآورد و ارزیابی هزینه‌های مرتبط با اقدام، پیاده‌سازی و اجرای هر راهکار در زون‌های بحرانی، هزینه‌های هر راهکار در قالب دسته‌بندی‌های مشخص ارائه شده است. این دسته‌بندی‌ها که در جدول شماره ۴ به‌تفصیل آمده، باتوجه‌به دامنه هزینه‌ای راهکارهای مختلف، از کمترین تا بیشترین هزینه‌های مربوط به اعمال راهکارها از میان گزینه‌های مختلف موجود، تعیین شده است. به‌عبارت‌دیگر، هر راهکار براساس میزان هزینه‌های مرتبط با آن، در یکی از این دسته‌ها قرار می‌گیرد تا امکان مقایسه و اولویت‌بندی آن‌ها به‌طور مؤثر فراهم شود.

### بررسی معیار عملکرد

در این بخش، جهت ارزیابی پارامتر عملکرد، به عملکرد کلی شبکه (میزان آب‌دهی شبکه توزیع آب)، متأثر بر اعمال راهکار در زون گلوگاهی پرداخته شده است. شاخص‌های نمره‌دهی به این پارامتر که به‌منظور ارزیابی دقیق عملکرد شبکه پس از پیاده‌سازی هر راهکار طراحی شده‌اند، مطابق با جدول شماره ۵ تنظیم شده است.

3. Effective Resilience Assessment Methodology for Water Utilities

**جدول ۲.** بانک راهکارها و مشخصات تاب‌آورسازی هر راهکار

| راهکار متناسب با تهدید | ظرفیت‌های تاب‌آوری زیرساخت آب | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | جذب | | | | انطباق | | | | بازیابی | | | | |
| | ذخیره‌سازی | هوشمندسازی | مستحکم‌سازی | موازی‌سازی | تفکیک | جایگزینی | تغییرمسیر | حفاظت | سازماندهی مجدد | خلاقیت | سیستم‌های پیشرفته هشدار و نظارت | پیش‌بینی | موافقت‌نامه‌های همکاری متقابل | آموزش |
| Er-1 | | | | n | | n | | | | | | | | |
| Er-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-3 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-4 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-5 | | | | | | | | | n | | | n | n | |
| Er-6 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-7 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-8 | | | | | | n | n | | | | | | | |
| Er-9 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-10 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-11 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-12 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-13 | | | | | | | n | | | n | | | | |
| Er-14 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-15 | | | | | n | | | | | | | n | | |
| Er-16 | | | n | | | | | | | | | n | | |
| Er-17 | | | | | n | | | | | | | | | |
| Er-18 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Er-19 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-1 | | | | | n | | n | | | n | | | | |
| F-2 | | | | | n | | | | | | | | | |
| F-3 | | | | | | | | | | | | n | | |
| F-4 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-5 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-6 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-7 | | | n | | | | | | | | | | | |

| راهکار متناسب با تهدید | ظرفیت‌های تاب‌آوری زیرساخت آب | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | جذب | | | | انطباق | | | | | | بازیابی | | | |
| | ذخیره‌سازی | هوشمندسازی | مستحکم‌سازی | موازی‌سازی | تفکیک | جایگزینی | تغییرمسیر | حفاظت | سازماندهی مجدد | خلاقیت | سیستم‌های پیشرفته هشدار و نظارت | پیش‌بینی | موافقت نامه‌های همکاری متقابل | آموزش |
| F-8 | | | | | | | | | n | | | | n | |
| F-9 | | | | | n | | | | | | | | | |
| F-10 | | | n | | | | | | | | | | | |
| F-11 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-12 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-13 | n | | | | | | | | | | | | | |
| F-14 | | | | | | | | | | | n | n | | |
| F-15 | | | | n | | | | | | | | | | |
| F-16 | | | | | | | | | | | | n | n | |
| F-17 | | | n | | | | | n | | | | | | |
| P-1 | | n | | | | | | | | | | | | |
| P-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| P-3 | | n | | n | | n | | | | | | | | |
| P-4 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| Ex-1 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-2 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-3 | | | n | | | | | | | | | | | |
| Ex-4 | | | | | | | | | | | n | | | |
| Ex-5 | | | n | | | | | | | | | | | |
| H-1 | | | | | | | | | | | n | | | n |
| H-2 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-3 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-4 | | | n | | | | | n | | | | | | |
| H-5 | | | n | | | | | | | | | n | | |
| H-6 | | | | n | | n | | | n | n | | | | |
| H-7 | | n | | | | | | | | | n | | | |
| H-8 | | | n | | | | | | | | | | | |
| O-1 | | | | | | | | n | | | | | | |

| راهکار متناسب با تهدید | ظرفیت‌های تاب‌آوری زیرساخت آب | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | جذب | | | | | انطباق | | | | | | بازیابی | | | |
| | ذخیره‌سازی | هوشمندسازی | مستحکم‌سازی | موازی‌سازی | تفکیک | جایگزینی | تغییرمسیر | حفاظت | سازماندهی مجدد | خلاقیت | سیستم‌های پیشرفته هشدار و نظارت | پیش‌بینی | موافقت نامه‌های همکاری متقابل | آموزش |
| O-2 | n | | | n | | n | | | | | | | | |
| O-3 | | | | | | | | | | | | n | n | |
| O-4 | | | | | | | | n | | | n | | | |
| O-5 | | | | | | | | n | | | | | | |
| O-6 | | | | | | | | n | | | | | | |
| O-7 | n | | | | | | | | | | | n | n | |
| O-8 | | | | n | | | | | | | | n | n | n |
| O-9 | | | | | | | | | | | | | n | n |
| O-10 | | | | | | | | | | | | | n | |
| O-11 | | | | | | | | | | | | | | n |

### گام سوم: تعیین ضریب اهمیت پارامترها

در گام سوم، به‌منظور تعیین میزان ضریب اهمیت هریک از معیارهای منتخب در گام قبل، از روش تحلیل چند شاخصه بهترین-بدترین (BWM) استفاده شد. این تحلیل با بهره‌گیری از نظرات مدیران آبفا و در نرم‌افزار اکسل انجام گردید. در ابتدا و پس از انتخاب عملکرد؛ به‌عنوان بهترین (پراهمیت‌ترین) پارامتر و هزینه؛ به‌عنوان بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) پارامتر، بردارهای BO و OW تشکیل و نمره‌دهی شدند. به این صورت که در بردار BO به نمره‌دهی بهترین مؤلفه نسبت به خود و دیگر مولفه‌ها پرداخته شد و همچنین در بردار OW به نمره‌دهی هر سه مؤلفه نسبت به بدترین مؤلفه پرداخته شد. سپس ضریب اهمیت هریک از معیارها محاسبه و تعیین شد. نتایج این محاسبات در تصویر شماره ۵ ارائه گردید و مبنای اولویت‌بندی معیارها در فرآیند ارزیابی قرار گرفت.

### گام چهارم: نمره‌دهی به راهکارها

پس از تعیین وزن هرکدام از معیارها، با مراجعه به بانک راهکارها (جدول شماره ۲) به نمره‌دهی هر کدام متناسب با زون موردنظر و براساس شاخص‌های تعیین‌شده ذیل هر معیار درماتریس تصمیم (توسط طراحان شبک توزیع آب‌وفاضلاب)، پرداخته می‌شود. همچنین در این مرحله می‌بایست به ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری، نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس کردن، تعریف سری‌های هدف مرجع، تأثیر ضریب رابطه خاکستری، رتبه رابطه خاکستری و نهایتاً، امتیازدهی نهایی براساس رتبه‌های رابطه خاکستری با استفاده از نرم‌افزار GRA Solver نسخه ۲۰۱۵ انجام شود تا ارزیابی و اولویت‌بندی دقیق‌تری از راهکارها به دست آید.

به‌علت طولانی بودن عنوان راهکارهای مربوط به تهدیدات/مخاطرات در این مقاله، راهکارها به‌صورت اختصار نام‌گذاری شده‌اند. به این صورت که ابتدای نام آن‌ها به اختصار تهدید/

**جدول ۳.** شاخص‌های سنجش مؤلفه زمان

| مرتبه | توصیف | درجه |
|---|---|---|
| کوتاه مدت | زمان اقدام و بهره‌برداری از راهکار حداکثر تا ۱ ماه است. | ۱–۷۲۰ |
| میان مدت | زمان اقدام و بهره‌برداری از راهکار بین ۱ تا ۶ ماه است. | ۷۲۰–۴۳۲۰ |
| بلند مدت | زمان اقدام و بهره‌برداری از راهکار بین ۶ تا ۱۸ ماه است. | ۴۳۲۰–۱۳۱۴۰ |

مخاطره و سپس شماره بعد از آن، نشان از ترتیب راهکارهای موجود در هر دسته تهدید را نشان می‌دهد (Er[4]: زلزله، F[5]: سیل، P[6]: اختلاف‌فشار، Ex[7]: فرسودگی، H[8]: سلامت آب، O[9]: دیگر راهبرها). جدول شماره ۱، نمره اختصاص‌یافته به هر راهکار و امتیاز نهایی برحسب رتبه رابطه خاکستری را نشان می‌دهد.

### گام پنجم: رتبه‌بندی راهکارها

اولویت‌بندی نهایی راهکارها مطابق با نظر خبرگی و در دستور کار قرار دادن راهکارهای تاب‌آور ساز شرکت آبفای مازندران برای شهر بابل، مطابق با جدول شماره ۶ انجام می‌گیرد.

در جدول شماره ۷، راهکارهای دارای اولویت اول (با امتیاز ۱-۰/۸) که از نظر پیاده‌سازی از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند، معرفی شده‌اند.

در ادامه، جزئیات و اهمیت هریک از این راهکارها به تفصیل توضیح داده شده است.

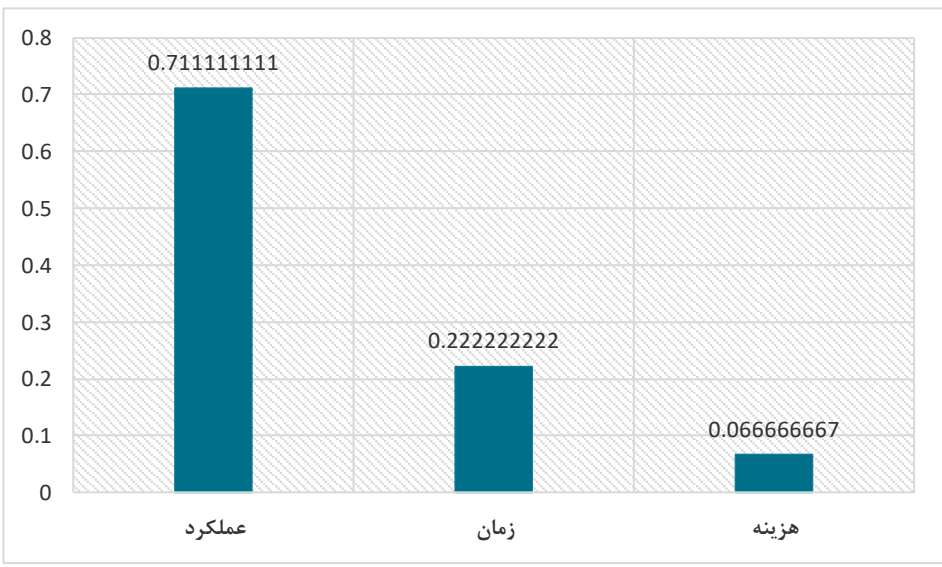
### راهکار ۱

پایش دبی خروجی از مخزن و برنامه‌ریزی جهت تخلیه و انجام تعمیرات و برطرف کردن درز و ترک‌های موجود بر دیواره مخزن یکی از اجزای حیاتی مدیریت و نگهداری مخازن آب است. پایش دبی خروجی به شناسایی هرگونه نوسانات غیرمعمول در جریان آب کمک می‌کند که می‌تواند نشانه‌ای از وجود مشکلات ساختاری یا هیدرولیکی باشد. براساس این داده‌ها، می‌توان برنامه‌ریزی دقیقی برای تخلیه مخزن و انجام تعمیرات لازم جهت رفع درزها و ترک‌ها انجام داد. ترمیم حفره‌های موجود رؤیت‌شده در بازدید میدانی صورت‌گرفته‌شده (تصویر شماره ۶)، از وارد شدن آلودگی به منابع آب جلوگیری می‌کند و همچنین باعث حفظ امنیت و کارایی بلندمدت مخزن می‌شود. به‌این‌ترتیب، علاوه‌بر حفظ کیفیت آب، سیستم آب‌رسانی از بروز مشکلات جدی‌تر و هزینه‌های اضافی در آینده مصون می‌ماند (Ex-5).

### راهکار ۲

نصب ژنراتورهای تولید برق اضطراری و منبع تأمین برق بی‌وقفه (UPS) در مخزن و ایستگاه پمپاژ و نیز مجتمع‌های حساس، برای جلوگیری از اختلال در خدمات‌رسانی در هنگام قطع برق جهت ایجاد آمادگی در مواقع اضطراری برای زون مورد نظر پیشنهاد شده است. این سیستم‌ها از تاب‌آوری زیرساخت‌ها در برابر بلایای طبیعی و انسانی، به‌ویژه در زمان‌هایی که وابستگی به تأمین برق عمومی دچار اختلال می‌شود، حمایت می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر، وجود این منابع انرژی در تأسیسات حیاتی به‌ویژه در مناطق مستعد بلایای طبیعی، نقش مهمی در حفظ تداوم خدمات حیاتی و کاهش آسیب‌های ناشی از اختلالات به وجود می‌آورد. در این راستا، علاوه‌بر نصب ژنراتورهای برق اضطراری و منابع تأمین برق بی‌وقفه، ضروری است که این سیستم‌ها به‌طور منظم تحت تست‌های عملیاتی و نگهداری قرار گیرند تا در زمان نیاز، به‌طور کامل آماده به کار باشند. همچنین، مدیریت مناسب این منابع انرژی، شامل مدیریت مصرف و زمان‌بندی بهینه استفاده از آن‌ها، می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در درازمدت شود. درنهایت، باتوجه‌به ضرورت حفظ کارایی و تأمین

4. Earthquake
5. Flood
6. Pressure Difference
7. Exhaustion
8. Water Health
9. Other Strategies




**تصویر ۵.** ضریب اهمیت پارامترها

**جدول ۴.** شاخص‌های سنجش مؤلفه هزینه

| مرتبه | توصیف | درجه |
|---|---|---|
| خیلی کم | هزینه اعمال راهکار مورد نظر بین ۰ تا ۲۰۰ میلیون تومان است. | ۱۰–۸ |
| کم | هزینه اعمال راهکار مورد نظر بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیون تومان است. | ۸–۶ |
| متوسط | هزینه اعمال راهکار مورد نظر بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیون تومان است. | ۶–۴ |
| زیاد | هزینه اعمال راهکار مورد نظر بین ۶۰۰ میلیون تا ۱ میلیارد تومان است. | ۴–۲ |
| خیلی زیاد | هزینه اعمال راهکار مورد نظر بیش از ۱ میلیارد تومان است. | ۲–۰ |

**جدول ۵.** شاخص‌های سنجش مؤلفه عملکرد

| مرتبه | توصیف | درجه |
|---|---|---|
| مطلوب | تأثیر اعمال راهکار بر عملکرد شبکه زیاد می‌باشد. | ۱۰۰–۸۰ |
| پایدار | تأثیر اعمال راهکار بر عملکرد شبکه متوسط می‌باشد. | ۸۰–۶۰ |
| نیمه پایدار | تأثیر اعمال راهکار بر عملکرد شبکه کم می‌باشد. | ۶۰–۲۰ |
| متوقف | اعمال راهکار بر عملکرد شبکه بی‌تأثیر می‌باشد. | ۲۰–۰ |

خدمات در شرایط بحرانی، نصب این سیستم‌ها به‌عنوان یکی از اولویت‌های زیرساختی در توسعه و ارتقای تاب‌آوری ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن آب‌رسانی شناخته می‌شود (Er-1).

### راهکار ۳

به‌منظور عدم وجود فضای کافی برای نفوذ سیلاب و ممانعت از ایجاد آلودگی در مخازن آب موجود، می‌بایست درصورت پیش‌بینی خطر وقوع سیل، تمام ظرفیت خالی مخازن را پر کرد که این خود یک استراتژی حیاتی برای حفظ تاب‌آوری سیستم‌های آب‌رسانی و تضمین تأمین منابع آب در زمان‌های اضطراری هم می‌باشد. بنابراین، پر کردن مخازن آب در مواقع خطر و پیش از وقوع بحران نه‌تنها به‌عنوان یک اقدام پیشگیرانه برای تأمین منابع آب در مواقع اضطراری عمل می‌کند، بلکه در ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌های آب‌رسانی و حفظ سلامتی و رفاه جامعه در شرایط بحرانی نقش اساسی دارد (F-7).

### راهکار ۴

حفاظت و فنس کشی موجود در اطراف مخازن به‌منظور جلوگیری از عملیات خرابکاری احتمالی. این کار به‌منظور جلوگیری از ورود افراد متفرقه به مخزن و تأسیسات خط انتقال



**تصویر ۶.** مخزن موجود در زون گلوگاهیX

**جدول ۶.** تعیین میزان اولویت راهکارهای تاب‌آورساز

| اولویت | امتیاز |
|---|---|
| اول | ۱–۰/۸ |
| دوم | ۰/۸ – ۰/۴ |
| سوم | ۰/۴ –۰ |

آب و همچنین مشخص نمودن حریم اراضی تحت تملک شرکت آب منطقه‌ای که درنهایت به‌منظور بالا بردن سطح امنیت مخازن در برابر عملیات خرابکاری احتمالی، پیشنهاد می‌شود (O-۶).

## بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد رویکرد ترکیبی BWM-GRA، ابزار مناسبی برای اولویت‌بندی راهکارهای تاب‌آوری در شبکه‌های آب‌رسانی است. نتایج حاکی از آن است که معیار عملکرد (با وزن ۰/۷۱) بیشترین تأثیر را در ارزیابی نهایی راهکارها داشته است. یکی از جنبه‌های نوآورانه این تحقیق، توجه هم‌زمان به معیارهای کمی (زمان و هزینه) و کیفی (عملکرد) در ارزیابی راهکارها بوده است.

راهکار Ex-5 (پایش دبی خروجی و برطرف کردن درز و ترک‌های موجود بر دیواره مخزن) با امتیاز نهایی ۰/۹۵ به‌عنوان بالاترین اولویت شناسایی شده است که این نتیجه ناشی از ترکیب زمان اجرای کوتاه‌مدت (۷۲۰ ساعت)، هزینه زیاد (۳ واحد) و عملکرد مطلوب (۹۰ درصد) می‌باشد. راهکارهای Er-1 (نصب UPS) و F-7 (پرکردن مخازن آب قبل از وقوع سیل) هر دو با امتیاز ۰/۸۳ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نکته جالب توجه در این راهکارها، زمان اجرای کوتاه (به‌ترتیب ۶ و ۴۸ ساعت) همراه با عملکرد پایدار (۸۰، ۵، ۷۹ درصد) است که نشان‌دهنده اهمیت راهکارهای سریع‌الاجرا با تأثیرگذاری بالا در شرایط بحرانی می‌باشد. ازسوی‌دیگر، راهکار O-6 (حفاظت و فنس کشی موجود در اطراف مخازن) با امتیاز ۰/۸۰ نمونه‌ای از راهکارهای با هزینه زیاد (۳ واحد) ولی زمان اجرای کوتاه‌مدت (۲۴ ساعت) است که عملکرد قابل‌قبولی (۷۸ درصد) ارائه می‌دهد. در میانه جدول شماره ۱، راهکارهایی مانند F-15 (تعبیه پمپ رزرو) با امتیاز نهایی ۰/۷۱ مشاهده می‌شوند که دارای زمان اجرای کوتاه (۴۸ ساعت) و عملکرد پایدار (۷۰/۵ درصد) هستند. این گروه از راهکارها اگرچه از اولویت کمتری برخوردارند، اما همچنان گزینه‌های مناسبی برای اجرا محسوب می‌شوند. همچنین راهکار

**جدول ۷.** معرفی راهکارهای دارای اولویت اول به ترتیب امتیاز

| دسته دارایی | کد راهکار | تشریح راهکار | تهدید | فعال‌سازی ظرفیت |
|---|---|---|---|---|
| مخزن | Ex-5 | ۱. پایش دبی خروجی از مخزن و برنامه‌ریزی جهت تخلیه و انجام تعمیرات و برطرف کردن درز و ترک‌های موجود بر دیواره مخزن. | فرسودگی | جذب |
| | Er-1 | ۲. نصب ژنراتورهای تولید برق اضطراری و منبع تأمین برق بی وقفه در مخازن، ایستگاه‌های پمپاژ و مجتمع‌های حساس برای جلوگیری از اختلال در خدمات‌رسانی. | زلزله | جذب، انطباق‌پذیری |
| | F-7 | ۳. پرکردن مخازن ذخیره آب تصفیه‌شده تا ظرفیت کامل در مواقع پیش‌بینی وقوع خطر سیل. | سیل | جذب |
| | O-6 | ۴. حفاظت و فنس‌کشی موجود در اطراف مخازن به‌منظور جلوگیری از عملیات خراب‌کاری احتمالی. | سایر | انطباق‌پذیری |

1 Uninterruptible Power Supply (UPS)

O-3 (آموزش منظم نیروی انسانی و آگاه‌سازی شهروندان برای مقابله با شرایط اضطراری) علی‌رغم برخورداری از قابلیت اجرایی در بازه زمانی کوتاه‌مدت (۷۲۰ ساعت) و هزینه متوسط (۵ واحد)، در زمره راهکارهای با اولویت دوم (امتیاز ۰/۶۴) قرار گرفته است. نقش این راهکار در ایجاد پایداری بلندمدت عملکرد شبکه از طریق ارتقای سرمایه انسانی، امری استراتژیک و غیرقابل‌انکار است و اجرای این راهکار به‌عنوان پیش‌نیاز توانمندساز برای دیگر راهکارهای پر اولویت فنی ضروری تلقی می‌شود. و درنهایت راهکارهایی مانند F-1 (اجرای سنگ فرش‌های نفوذپذیر در سطح خیابان بر روی تأسیسات) با امتیازات ۰/۳۷، به‌دلیل عملکرد نیمه‌پایدار (۳۰ درصد) و نداشتن تأثیر محسوسی بر عملکرد شبکه، حتی به‌عنوان راهکارهای کم‌هزینه، در اولویت سوم قرار گرفته‌اند.

ازجمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به دسترسی محدود به جامعه متخصصان و محدودیت فنی جهت بررسی جامع زون‌های گلوگاهی اشاره نمود.

در پایان برای سایر محققان پیشنهادهایی برای ادامه کار ارائه می‌شود:

- مطالعه تطبیقی سایر زون‌های گلوگاهی و تحلیل یک‌پارچه کل شبکه توزیع آب به‌منظور شناسایی الگوهای عملکردی و تعاملات بین اجزای مختلف شبکه،

- استفاده ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک‌های تکمیلی ارزیابی به‌منظور ارتقای دقت و قابلیت اطمینان فرآیند انتخاب راهکارهای بهینه مدیریت شبکه،

- توسعه یک مدل پویا برای ارزیابی کمی و کیفی پایداری شبکه تحت شرایط و تغییرات مختلف.

## نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌طور قابل‌توجهی به آگاه‌سازی محققان و مقامات، به‌ویژه مدیران شرکت آبفای استان مازندران، کمک می‌کند چالش‌های موجود را جهت پیشگیری و آمادگی هرچه بهتر زیرساخت، در برابر بحران‌های احتمالی آینده شناسایی کرده و راهکارهایی را که قابلیت ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب را دارند، پیاده‌سازی نمایند. از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، توسعه یک چارچوب جامع برای اولویت‌بندی و انتخاب راهکارهای تاب‌آورساز در شبکه‌های آب‌رسانی شهری است. باتوجه‌به محدودیت منابع و اقتصادی نبودن تقویت تمام اجزای سیستم آب‌رسانی، در این پژوهش به ارائه یک چارچوب و سپس اقدامات لازم جهت طبقه‌بندی و در دستور کار قرار دادن راهکارهای تاب‌آورساز دارای اولویت، برای یکی از زون‌های گلوگاهی شبکه آب‌رسانی شهر بابل (زون X)، انجام شد. به این صورت که پس از شناسایی و دسته‌بندی تهدیدات (سیل، زلزله، فرسودگی، اختلاف‌فشار و سلامت آب) براساس فراوانی وقوع آن‌ها و نقاط ضعف شبکه، راهکارهایی را شناسایی و باتوجه‌به سه شاخص زمان و هزینه اجرا و تأثیر آن بر عملکرد کلی شبکه، اولویت‌بندی شدند.

نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد از میان ۶۳ راهکار ارائه‌شده برای زون X، ۴ مورد در اولویت اول، ۵۶ مورد در اولویت دوم و ۳ مورد در اولویت سوم قرار دارند. در جدول شماره ۲، می‌توان مشاهده کرد که راهکارها گاهاً توانایی فعال نمودن چند زیرظرفیت ذیل ظرفیت‌های مختلف تاب‌آوری را دارند، اما این به معنای برتری آن راهکار نسبت به دیگر راهکارها نمی‌باشد و نکته اصلی میزان تأثیر اعمال راهکار موردنظر (فارغ از تعداد فعال نمودن ظرفیت و زیر ظرفیت‌های تاب‌آورساز) بر عملکرد (آب‌دهی) کلی شبکه توزیع آب می‌باشد. همچنین، باتوجه‌به راهکارهای ارائه‌شده و دارای اولویت اول در جدول شماره ۷، می‌توان به‌وضوح به بحث وجود آب بدون درآمد در این زون گلوگاهی رسید، پس در راستای کاهش مشکلات مربوط به هدررفت آب و بهبود عملکرد سیستم آب‌رسانی، می‌بایست مطابق با توضیحات ارائه‌شده، اقدامات لازم انجام گردد.

کلیه راهکارهای شناسایی‌شده و استخراج‌شده از طریق مصاحبه و تحقیقات میدانی برای زون موردنظر ضروری بوده و حذف هیچ‌یک توصیه نمی‌شود.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمام اصول اخلاقی در این مطالعه رعایت شد. از آنجایی که این تحقیق شامل هیچ آزمایشی روی نمونه‌های انسانی یا حیوانی نبود، نیازی به کد تأیید اخلاق نبود.

### حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## References

Alavi, S., Masoud, M., & Karimi, A. (2020). [Urban resilience: Restoration analysis of urban water infrastructures in a potential earthquake (case study: region 2 of Tehran municipality) (Persian)]. *Human Geography Research, 52*(2), 533-550. [DOI:10.22059/jhgr.2018.233691.1007468]

Amirioun, M. H., Dadashzadeh, A., Mottaghizadeh, M., Aminifar, F., & Abniki, H. (2022). [Prioritizing resilience enhancement measures for electric distribution networks against hurricanes (Persian)]. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, 19*(4), 213-221. [DOI:10.52547/jiaeee.19.4.213]

Bakhshy, F., Zarghani, S. H., & Kharazmi, O. A. (2020). Analysis of vulnerable elements of the Cities water infrastructure against terrorist threats. *Geopolitics Quarterly, 16*( 2), 32-57. [Link]

Crozier, A., Lence, B. J., & Weijs, S. V. (2024). Resilience framework for urban water supply systems planning. *Sustainable and Resilient Infrastructure, 9*(4), 386-406. [DOI:10.1080/23789689.2024.2340378]

Elkady, S., Mehryar, S., Hernantes, J., & Labaka, L. (2024). "Prioritizing stakeholder interactions in disaster management: A TOPSIS-based decision support tool for enhancing community resilience. *Progress in Disaster Science, 22,* 100320. [DOI:10.1016/j.pdisas.2024.100320]

Jabali, S. (2021). [*Examining existing assumptions in the field of solutions for improving the resilience of water supply infrastructure projects during construction (case study of Tehran)* (Persian)]. Paper presented at: 4th International Conference on Modern Studies in Civil Engineering, Architecture, Urban Planning and Environment in the 21st Century, Tehran, Iran, 19 December 2020. [Link]

Khalidi, A., & Seifuddin Asl, S., & Zwari, S., & Mahtab, M. (2022). [*Resilient power distribution networks against natural disasters* (Persian)]. Paper presented at: Fourth National Conference on Environmental Engineering and Management. Ghaemshahr, Iran.

Lewin, C., Rossi, M., Soultani, E., & Raj, K. S. (2024). Managing infrastructure resilience and adaptation. *Sustainable and Resilient Infrastructure, 9*( 2), 107-123. [DOI:10.1080/23789689.2023.2241728]

Lorenz, I. S., & Pelz, P. F. (2020). Optimal resilience enhancement of water distribution systems. *Water, 12*( 9), 2602. [DOI:10.3390/w12092602]

Mohammadpour, Z. (2024). [Localization of a Hybrid Operational Resilience Model Based on a Quantitative-Qualitative Approach Based on Developed IRAM Models in Water Distribution Networks (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Malek Ashtar University of Technology.

Mohammadpour, Z., Nakoei, M., & Zakeri Khatir, E. (2024). [*Introduction and comparative study of approaches to measuring the resilience of water and wastewater infrastructure* (Persian)]. Paper presented at: 5th Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, Isfahan, Isfahan, Iran, 26 November 2024. [Link]

Naderi, M., & Mahsouli, M. (2019). [*Optimally increasing community resilience by prioritizing recovery operations for interdependent infrastructure* (Persian)]. Paper presented at: Third International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management. Tehran, Iran. [Link]

Passive Defense Organization. (2023). [Technical and specialized system for protecting the country's infrastructure (Persian)]. Retrieved from: [Link]

Piri, M., & Jafari, M. (2023). Developing Strategies for Psychological Resilience of Human Resources in Educational Organizations Using DEMATEL. *Transformation Management Journal, 15*(1), 162-190. [Link]

Pour Tabari, M., & Pour Tabari, M. (2017). [*Protecting water supply systems with a passive defense approach* (Persian)]. Paper prsented at: Second National Conference on Hydrology of Iran, Shahrekord, Iran, 11 July 2017. [Link]

Rokstad, R. G., Makropoulos, C., & Rokstad, M. M. (2023). Resilience assessment of water distribution networks exposed to substance intrusion. *Urban Water Journal, 20*(9), 1110-1122. [DOI:10.1080/1573062X.2023.2237944]

Shin, S., Lee, S., Judi, D. R., Parvania, M., Goharian, E., & McPherson, T., et al. (2018). A systematic review of quantitative resilience measures for water infrastructure systems. *Water, 10*(2), 164. [DOI:10.3390/w10020164]

Stip, C., Mao, Z., Bonzanigo, L., Browder, G., & Tracy, J. (2019). *Water infrastructure resilience- Examples of Dams, Wastewater Treatment Plants, and Water Supply and Sanitation Systems.* Washington: World Bank. [DOI:10.1596/31911]

Sun, J., & Zhang, Z. (2020). A post-disaster resource allocation framework for improving resilience of interdependent infrastructure networks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 85,* 102455. [DOI:10.1016/j.trd.2020.102455]

Tabesh, M., Bariany, A. E., Motevallian, S. S., Roozbahani, A., & Beygi, S. (2017). Prioritization of water consumption management strategies in water distribution networks using multiple criteria decision making method of fuzzy analytic hierarchy process (Case study: Tehran). *Amir Kabir Journal of Civil Engineering, 49*(1), 47-56. [Link]

Tortajada, C. (2016). Water, Governance, and Infrastructure for Enhancing Climate Resilience. In C. Tortajada (Ed.), *Increasing Resilience to Climate Variability and Change. Water Resources Development and Management.* Singapore: Springer. [DOI:10.1007/978-981-10-1914-2_1]

Yazdani, A., Otoo R. A., & Jeffrey, P. (2011). Resilience enhancing expansion strategies for water distribution systems: A network theory approach. *Environmental Modelling & Software, 26*(12), 1574-1582. [DOI:10.1016/j.envsoft.2011.07.016]

Zolfaqari, M., Ghanbari Nasab, A., Nekooie, M. A., & Hosseini, S. M. (2023). [Evaluation of resilience of West Tehran wastewater transmission line to Firooz Bahram treatment plant (Persian)]. *Emergency Management, 12*(1), 1-15. [Link]