Geography and Territorial Spatial Arrangement
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2345 - 2277 Online ISSN: 2783 - 5278
Association of Geography and Planning of Border Areas of Iran

Identifying and Prioritizing Sponge City Components for Urban Flood Management and Control (Case Study: Ahvaz City)

Seyed Jafar Hejazi [1]✉

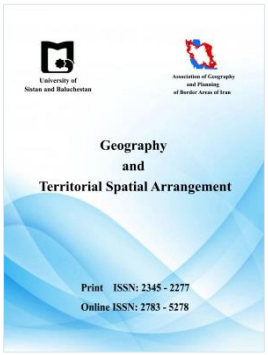
1. Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
✉ E-mail: Hejazi_j@scu.ac.ir

How to Cite: Hejazi, S,J. (2027). Identifying and Prioritizing Sponge City Components for Urban Flood Management and Control (Case Study: Ahvaz City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 16 (61), 29-34.

DOI: http://dx.doi.org/ 10.22111/gaij.2026.56121.3368

Article type:
Research Article

Received:
06/07/2026
Received in revised form:
05/08/2026
Accepted:
19/08/2026
Publisher online:
19/08/2026



Keywords:
Water resources management, urban runoff, urban flooding, sponge city, Ahvaz city.

ABSTRACT

Sponge city has been accepted globally as a new approach to flood management; however, in Iran, and especially in Ahvaz, it has not yet been implemented comprehensively and operationally, and its implementation requires the identification and development of local indicators that are appropriate to the conditions of this city. In this regard, this study has identified and prioritized the components of sponge city in order to manage and control urban floods in Ahvaz. In this context, by first studying the literature on the subject and examining the experiences of other similar cities, the basic dimensions and indicators of this concept were identified. Then, using the combined technique of DEMET and Convergent Supermatrix (ANP), the relative importance and structural position of each of these indicators were determined and prioritized from the perspective of 30 experts in the fields of urban planning, water engineering, and the environment. The research findings show that the "physical-infrastructure" dimension, as the main axis and driving force of the sponge city in Ahvaz, has the highest priority in flood management, and its realization requires the establishment of smart monitoring systems and strengthening of engineering infrastructure. In this hierarchical model, the environmental and institutional dimensions are complementary and create the basis for the effectiveness of physical interventions, while the economic and social dimensions are placed in the next priorities as supporting arms. In summary, the success of establishing the sponge city in Ahvaz depends on a strategic focus on improving physical bottlenecks and aligning institutional criteria, the improvement of which directly leads to the improvement of urban resilience against floods.

© the Author(s). **Publisher**: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization, the expansion of impervious surfaces, and the intensification of climate change have disrupted the balance of the natural water cycle, and by reducing land permeability and increasing runoff, urban water resource management has become one of the most complex challenges for sustainable development. Meanwhile, traditional approaches based on "rapid drainage" and gray infrastructure such as drainage networks have been ineffective in the long term due to high costs, inability to coordinate with rapid urban development, and neglect of the capacity of green infrastructure, and have resulted in consequences such as groundwater depletion and environmental pollution. In response to these inefficiencies, the concept of "sponge city" has emerged as a sustainable and adaptive solution based on the absorption, storage, and reuse of rainwater at the global level. However, in Iran, despite its historical history of high vulnerability to devastating floods and increasing intensity of atmospheric phenomena, this innovative approach has not yet been applied comprehensively and operationally; This makes a fundamental review of urban runoff management methods inevitable, given the unprincipled construction and destruction of natural beds. Khuzestan province, and especially the metropolis of Ahvaz, are considered highly vulnerable to flash floods due to their special geographical conditions, gentle slopes, flat topography, and low-permeability soil. The recent occurrence of recurring floods and heavy losses in Ahvaz is the result of the synergy of natural phenomena such as heavy rains with structural problems including the deterioration of the sewage network, encroachment on the riverbed, and lack of coordination in urban management, which is also exacerbated by the consequences of drought and soil hardening. To overcome this crisis, implementing the sponge city model in Ahvaz requires precise localization and consideration of the climatic, geological, institutional structure, and financial and social capacities of this region. Because mere modeling without understanding local requirements leads to project failure. Accordingly, the present study aims to identify the key components and indicators of the sponge city and prioritize them in accordance with the local conditions of Ahvaz, seeking to develop an operational framework for controlling flood sustainability in this metropolis.

Study Area

The metropolis of Ahvaz, the center of Khuzestan and the economic-environmental hub of southwestern Iran, is located in terms of mathematical coordinates at 31 degrees and 20 minutes north latitude and 48 degrees and 40 minutes east longitude, in a plain area with an average altitude of 18 meters above sea level. According to the 2016 census, the city has a population of more than 1.3 million people and is divided into 8 regions, 34 districts, and 124 neighborhoods in terms of urban management.

Material and Methods

This applied and mixed (qualitative-quantitative) research was conducted with the aim of identifying and prioritizing the "sponge city" indicators for flood control in Ahvaz. In its qualitative step, 26 key indicators were extracted in 5 dimensions: physical, environmental, economic, social, and institutional through content analysis and a detailed review of theoretical texts and literature. Then, in the quantitative step, using a matrix questionnaire and the DEMATEL technique based on the opinions of 30 experts and specialists in the relevant field (with a reliability coefficient of 0.92), the cause-and-effect relationships between these dimensions were comprehensively structured and analyzed.

Result and Discussion

In this study, a combined multi-criteria decision-making approach including Delphi, DEMATEL, and DANP techniques was used to identify and prioritize the components of the sponge city in the Ahvaz metropolis based on the opinions of 30 experts. After collecting data and through the mathematical modeling stages (including the formation of direct, normalized, and full correlation matrices), causal relationships between variables were extracted to provide a basis for network analyses and structuring the smart flood management model in this city. Analysis of the full correlation matrix based on the intensity (ri+cj) and direction of influence (ri-cj) indices showed that the "physical-infrastructure" (P) dimension, with the highest level of importance, interaction, and net influence, is the key axis and the main causal variable in the implementation of the sponge city in Ahvaz. At the sub-indicators level, items such as “smart monitoring and surveillance mechanisms” (M6), “green and gray infrastructure integration” (P1), and “retention basins” (P3) have the greatest importance and driving role; while economic and social components are mainly in the affected or supporting position. Finally, the output from the convergent supermatrix (DANP) limit showed that the “physical-infrastructure”

dimension is ranked first in the priority list with the highest score (0.2068), and the environmental, social, economic, and institutional-management dimensions are ranked next. These results emphasize that for successful flood control in Ahvaz, the first strategic priority should be focused on improving engineering bases and developing permeable infrastructure, and at the same time as establishing smart monitoring systems and ecological interventions, social and economic groundwork should be pursued as a complement.

Conclusion

The results show that the "physical-infrastructure" dimension, as the main axis and driving force of the sponge city in Ahvaz, has the highest priority in flood management, and its realization requires the establishment of smart monitoring systems and strengthening of engineering infrastructure. In this hierarchical model, environmental and institutional dimensions are complementary and create the basis for the effectiveness of physical interventions, while economic and social dimensions are placed in the next priorities as supporting arms. In summary, the success of establishing a sponge city in Ahvaz depends on a strategic focus on improving physical bottlenecks and aligning institutional criteria, the improvement of which directly leads to the improvement of urban resilience against floods.

Key words: Water resources management, urban runoff, urban flooding, sponge city, Ahvaz city.

References

Ashrati, P., Molatabi, M. and Makbarian, A. (1401). Investigating the level of attention to the water-sensitive urban design approach in university education of landscape architecture and urban design. Journal of Water and Wastewater, 33(1), 105-118. Doi: 10.22093/wwj.2021.311538.3188. **(***In Persian***)**

Bah, A., Hongbo, Z., Bah, A., Jufang, H., & Zhumei, L. (2023). Study of the applicability of Sponge City concepts for flood mitigation based on LID (low impact development) measures: A case study in Conakry City, Republic of Guinea. Water Science & Technology, 88(4), 901-921. https://doi.org/10.2166/wst.2023.251.

Bahmani, S. and Mohammadi Deh Cheshmeh, M. (1402). A sociological study of the challenge of surface water management and its impact on the daily lives of Ahwazi citizens (Case study: urban flood incident and sewage overflow in the cities of Ahwaz and Karun from 2019 to 2021). Social Development, 18(1), 227-250. Doi: 10.22055/qjsd.2023.41990.2734. **(***In Persian***)**

Cansian, A. R., Guzmán, D. A., Rosa, A., & de Toledo Machado, J. (2025). Nature-Based solutions for urban drainage: a systematic review of sizing and monitoring methods. Water, 17(17), 2524. https://doi.org/10.3390/w17172524.

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y. T., ... & Thorne, C. R. (2018). “Sponge City” in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. Land use policy, 76, 772-778. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005

Griffiths, J., Chan, F. K. S., Shao, M., Zhu, F., & Higgitt, D. L. (2020). Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 378(2168), 20190222. doi: 10.1098/rsta.2019.0222 .

Han, N., Ibrahim, R. B., & Mat Noor, M. S. B. (2025). Assessing Cultural Ecosystem Services in Sponge City Infrastructure: A Systematic Review and Framework Proposal. Sustainability, 17(11), 5130. https://doi.org/10.3390/su17115130 .

He, B. J., Zhu, J., Zhao, D. X., Gou, Z. H., Qi, J. D., & Wang, J. (2019). Co-benefits approach: Opportunities for implementing sponge city and urban heat island mitigation. Land use policy, 86, 147-157. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.003

Jamshidi, M. (1403). Sponge city approach to achieving water resource sustainability in desert cities. The first national conference on engineering and management strategies in water systems, Isfahan, Iran. https://civilica.com/doc/2120454. **(***In Persian***)**

Janipour, B., and Aminifard, Z. (1402). Promoting urban environmental resilience through green infrastructure in sponge cities with a low-impact development (LID) approach. The first national conference on green space development strategies in desert cities, Qom. https://civilica.com/doc/2097443. **(***In Persian***)**

Jiang, D., Hua, R., & Shao, J. (2022). Ecological evaluation of sponge city landscape design based on aquatic plants application. Land, 11(11), 2081. https://doi.org/10.3390/land11112081.

Li, W., Guo, J., Yuan, J., Liu, H. J., & Edwards, D. J. (2022). Exploring the key indicators of social impact assessment for sponge city PPPs: A sustainable development perspective. Buildings, 12(9), 1329. https://doi.org/10.3390/buildings12091329.

Liang, D., Wang, Q., Wei, N., Tang, C., Sun, X., & Yang, Y. (2020). Biological indicators of ecological quality in typical urban river-lake ecosystems: The planktonic rotifer community and its response to environmental factors. Ecological Indicators, 112, 106127..https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106127 .

Lu, Y., Huang, M., Xiao, H., Lu, Z., Xie, M., & Chen, K. (2025). Keyword Analysis and Systematic Review of China's Sponge City Policy and Flood Management Research. Atmosphere, 16(9), 1090 .

Luo, J., Hu, P., Sun, J., Yang, N., Liu, Q., Qin, N., Yuan,Y., & Xu, G. (2022). Research on Multiobjective Optimization of Sponge City Based on SWMM Model. Mobile Information Systems, 2022(1). https://doi.org/10.1155/2022/2677518

Ma, J., Liu, D., & Wang, Z. (2023). Sponge city construction and urban economic sustainable development: An ecological philosophical perspective. International journal of environmental research and public health, 20(3), 1694. https://doi.org/10.3390/ijerph20031694.

Masoumi, M., Hosseini, S., Karimi, G., Vaeli, A., & Kalani, A. (1405). Data-driven application of water and energy observatory in flood management of Ahvaz metropolis. Urban Development Policy, 3(1), 1-17.Doi: 10.22034/judpm.2025.542528.1059. **(***In Persian***)**

Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., ... & Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management-Sponge City. Science of the Total Environment, 652, 147-162. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168.

Nouri, M., Rezaei, M. & Asgari, A. (1403). Bibliometric analysis and literature review of sponge city as an emerging concept in sustainable urban water management. Danesh Shahr-e-Sazi, 8(2), 18-40. Doi: 10.22124/upk.2024.26456.1916. **(***In Persian***)**

Nouri, M., Rezaei, M., Asgari, A. (1402). Evaluating the role of sponge city as a green-blue city in improving the level of ecosystem services of Shiraz city, Research on Geography of Urban Planning, 11(4), 153-133. DOI: 10.22059/jurbangeo.2024.369561.1892. **(***In Persian***)**

Pinto, H., Elston, J., Sunday, O. S., & Nogueira, C. (2026). From Concept to Practice: Evidence and Lessons from Sponge City Implementation in Shenzhen, China. Urban Science, 10(3), 135. https://doi.org/10.3390/urbansci10030135.

Rajabizadeh, Y., Ayubzadeh, S. and Ghomshi, M. (2019). Study of floods in Khuzestan province during the 2018-2019 water year and providing solutions for their control and management in the future. Journal of Ecohydrology, 6(4), 1069-1084. Doi: 10.22059/ije.2020.285854.1166. **(***In Persian***)**

Safari Namiondi, Mehdi. (1404). Assessment of the flood situation of cities in Khuzestan province. Geography and Human Relations, 7(4), 299-315. Doi: 10.22034/gahr.2025.514247.2433. **(***In Persian***)**

Samimi, K., Pakan, M. and Sinai, Y. (1401). A review of the components of sponge cities made of porous concrete in the direction of sustainable development. Concrete Materials and Structures, 7(1), 46-59. Doi: 10.30478/jcsm.2022.344918.1270. **(***In Persian***)**

Song, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. Nature-Based Solutions, 2, 100010.https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010 .

Taheri, Seyedeh M. and Mosaedi, A. (1402). A review of flood risk management strategies and legal and practical challenges. Quarterly Journal of Water and Sustainable Development, 10(3), 35-50. Doi: 10.22067/jwsd. v10i3.2309-127. **(***In Persian***)**

Tang, H., Ryan, R. L., Eisenman, T. S., & Yang, B. (2026). "Sponge City" Viability: Perspectives from Practitioners and Domain Experts in China. Land, 15(3), 492. https://doi.org/10.3390/land15030492.

Tangestani, Z., Izadi, H. and Arasateh, M. (1405). Identifying and prioritizing effective criteria for creating sponge cities using the intuitive fuzzy sava method. Geography and Environmental Sustainability, 16(1), 1-28.Doi: 10.22126/ges.2025.12324.2887. **(***In Persian***)**

Tansar, H., Li, F., & Duan, H. F. (2025). An efficient Gaussian process-based optimization for resilience improvement of urban drainage systems considering changing climate. Reliability Engineering & System Safety, 264, 111428. 10.1016/j.ress.2025.111428.

Thamakaison, S., & Positlimpakul, K. (2026). Systematic Review of Sponge City Indicators for Constructing a Thailand-Specific Sponginess Index. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1629, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.

Wan, P., & Zhang, H. (2026). Enhancing urban water ecological resilience through sponge city initiatives: Evidence from China. Urban Climate, 65, 102755. 10.1016/j.uclim.2025.102755.

Wang, C., Zevenbergen, C., & Corzo, G. (2025). A Comprehensive Conceptual Framework for the Sponge City Programme. In Geospatial Innovation: Igniting Smart Cities, Eco-Synergy, and Urban Resurgence: Geospatial Technologies for Smart Cities (pp. 247-271). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-96965-2_17.

Wang, J., Xue, F., Jing, R., Lu, Q., Huang, Y., Sun, X., & Zhu, W. (2021). Regenerating sponge city to sponge watershed through an innovative framework for urban water resilience. Sustainability, 13(10), 5358. https://doi.org/10.3390/su13105358.

Xu, C., Lin, W., Zhu, Y., Zhang, B., Wang, Z., & Jia, H. (2024). A macro-level life cycle environmental-economic impact and benefit assessment of sponge cities in China. Resources, Conservation and Recycling, 211, 107859. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107859.

Yamani, A., Adresi, M. and Karimaei, M. (1400). Sustainable urban development based on the concept of sponge city and a specialized study of porous concrete pavement in sponge city, First International Conference on Sustainable Construction Design and Management, Kish Island.https://civilica.com/doc/1430270. **(***In Persian***)**

Yang, J., & Zheng, B. (2020). Spatial structure planning and optimization strategy of sponge city in coastal area. Journal of Coastal Research, 103(SI), 561-565. https://doi.org/10. 2112/SI103-114.1

Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., ... & Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. Journal of Cleaner Production, 280, 124963. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124963.

Yin, D., Xu, C., Jia, H., Yang, Y., Sun, C., Wang, Q., & Liu, S. (2022). Sponge city practices in China: From pilot exploration to systemic demonstration. Water, 14(10), 1531. https://doi.org/10.3390/w14101531.

Zheng, S., Tang, Y., Chan, F. K. S., Cao, L., & Song, R. (2022). The demographic implication for promoting sponge city initiatives in the Chinese megacities: a case of Wuhan. Water, 14(6), 883. https://doi.org/10.3390/w14060883.

Zhou, H., Li, H., Zhao, X., & Ding, Y. (2021). Emergy ecological model for sponge cities: A case study of China. Journal of Cleaner Production, 296, 126530. 10.1016/j.jclepro.2021.126530.

Ziari, K. and Mansouri Afited, A. (1402). Investigating the role of sponge city formation on reducing vulnerabilities caused by urban floods (Case study: Mashhad city), the second international exhibition event of Iran Qavi Crisis Management, Tehran. https://civilica.com/doc/1927642. **(***In Persian***)**

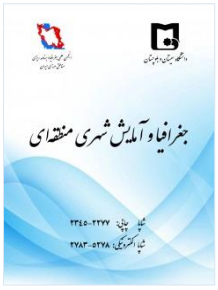
جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۲۲۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۷۸
دانشگاه سیستان و بلوچستان

شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های شهر اسفنجی در راستای مدیریت و کنترل سیلاب شهری (نمونهٔ موردی: شهر اهواز)

سیدجعفر حجازی [1*]

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری–منطقه‌ای
زمستان ۱۴۰۵، سال ۱۶، شمارهٔ ۶۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸
تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸
صفحات : ۶۰-۲۹



واژه‌های کلیدی:
مدیریت منابع آب، رواناب شهری، سیلاب شهری، شهر اسفنجی، شهر اهواز.

چکیده

شهر اسفنجی به‌عنوان رویکردی نوین برای مدیریت سیلاب، در سطح جهانی مورد پذیرش قرارگرفته‌است؛ با این‌حال، در ایران و به‌ویژه شهر اهواز، هنوز به‌صورت جامع و عملیاتی به‌کار گرفته‌نشده و اجرای آن مستلزم شناسایی و تدوین شاخص‌های بومی و متناسب با شرایط این شهر است. در همین راستا، در این پژوهش به شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های شهر اسفنجی در راستای مدیریت و کنترل سیلاب شهری در شهر اهواز پرداخته شده‌است. در این زمینه، ابتدا با مطالعهٔ ادبیات موضوع و بررسی تجارب سایر شهرهای مشابه، ابعاد و شاخص‌های اساسی این مفهوم شناسایی‌شد؛ سپس، با استفاده از تکنیک ترکیبی دیمتل و سوپرماتریس همگرا (ANP)، اهمیت نسبی و جایگاه ساختاری هر یک از این شاخص‌ها از دیدگاه ۳۰ نفر از خبرگان حوزهٔ برنامه‌ریزی شهری، مهندسی آب و محیط‌زیست تعیین و اولویت‌بندی شد. یافته‌های پژوهش نشان‌می‌دهد که بُعد «کالبدی-زیرساختی» به‌عنوان محور اصلی و پیشران شهر اسفنجی در اهواز، بالاترین اولویت را در مدیریت سیلاب داراست و تحقق آن نیازمند استقرار نظام‌های پایش هوشمند و تقویت زیرساخت‌های مهندسی است. در این الگوی سلسله‌مراتبی، ابعاد محیط‌زیستی و نهادی در جایگاه مکمل قرارداشته و بسترساز اثربخشی مداخلات فیزیکی هستند؛ درحالی‌که ابعاد اقتصادی و اجتماعی به‌عنوان بازوهای حمایتی در اولویت‌های بعدی قرارمی‌گیرند. در مجموع، موفقیت استقرار شهر اسفنجی در اهواز در گرو تمرکز راهبردی بر اصلاح گلوگاه‌های کالبدی و هم‌راستایی ضوابط نهادی است که بهبود آن‌ها به‌طور مستقیم موجب ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب می‌شود.

مقدمه

رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و تغییرات اقلیمی با گسترش سطوح نفوذناپذیر، چرخهٔ طبیعی هیدرولوژیک را مختل و مدیریت منابع آب را به چالشی محوری در توسعهٔ پایدار شهری تبدیل کرده‌است (لو[1] و همکاران، ۱۰۹۳:۲۰۲۵؛ تانگ[2] و همکاران، ۴۹۴:۲۰۲۶؛ پینتو[3] و همکاران، ۳:۲۰۲۶؛ تاماکایسون و پوزیتلیمپاکول[4]، ۲۶:۲۰۲۶)؛ این درحالی‌است که رویکرد غالب مدیریت رواناب مبتنی بر «تخلیهٔ سریع» ازطریق زیرساخت‌های خاکستری (زهکشی و مخازن) است که علاوه بر هزینهٔ بالا، با گسترش شهرها همگام نبوده و از ظرفیت زیرساخت‌های سبز (رودخانه‌ها و تالاب‌ها) غافل است (یین[5] و همکاران، ۱۵۳۱:۲۰۲۲)؛ همچنین این سیستم‌ها در

1. Lu
2. Tang
3. Pinto
4. Thamakaison & Positlimpakul
5. Yin

۱- دانشیار گروه معماری، دانشکدهٔ مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول) Hejazi_j@scu.ac.ir

بلندمدت ناکارآمد بوده و به کاهش آب‌های زیرزمینی، آلودگی و عدم تعادل اکولوژیکی منجرمی‌شوند (سانگ[1]، ۱۶:۲۰۲۲)؛ بنابراین، در پاسخ به ناکارآمدی سیستم‌های سنتی، رویکرد «شهر اسفنجی» که نخستین‌بار در سال ۲۰۱۳ در چین با هدف جذب، ذخیره و استفادهٔ مجدد از آب باران مطرح‌شد، به‌عنوان راهکاری پایدار در سطح جهانی مورد توجه قرارگرفته‌است (ما[2]و همکاران، ۱۶۹۵:۲۰۲۳) و با وجود کاربرد گستردهٔ آن در جهان، این مفهوم در ایران هنوز به‌طور جامع و عملیاتی بهره‌برداری نشده‌است (تنگستانی و همکاران، ۴:۱۴۰۵)؛ درحالی‌که سیلاب-های شهری ناشی از ساخت‌وسازهای غیراصولی و کاهش سطوح نفوذپذیر، همراه با اثرات تغییرات اقلیمی، ضرورت بازنگری اساسی در مدیریت منابع آب و رواناب‌های شهری را بیش‌ازپیش مطرح‌کرده‌است (معصومی و همکاران، ۳:۱۴۰۵).

از طرفی بررسی آمار هفتاد ساله و همچنین سیلاب‌های ویرانگر در سال‌های اخیر نشان‌می‌دهد ایران در زمره کشورهای سیل‌خیز جهان قراردارد که سالانه با تلفات جانی و خسارات مالی سنگینی مواجه‌می‌شود(طاهری و مساعدی،۳۶:۱۴۰۲)؛ در این میان، استان خوزستان به‌دلیل ویژگی‌های جغرافیایی خاص، یکی از مناطق آسیب‌پذیر از نظر سیلاب است؛ به‌گونه‌ای که حدود ۶۵ درصد از وسعت این استان، به‌ویژه در مناطق میانی و جنوبی، به‌دلایلی مانند: ارتفاع کم، شیب ملایم و نزدیکی به رودخانه‌ها، پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارد (صفری نامیوندی، ۳۰۱:۱۴۰۴). با توجه به این‌که از ۴۳ شهر این استان، ۳۰ شهر در گروه‌های پتانسیل سیل‌خیزی «زیاد» و «خیلی-زیاد» قرارمی‌گیرند، اتخاذ راهبردهای ترکیبی شامل اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای کاهش احتمال وقوع سیلاب در این مناطق، امری ضروری است(رجبی‌زاده و همکاران،۱۰۸۴:۱۳۹۸). شهر اهواز نیز به‌عنوان مرکز استان خوزستان، به‌دلیل بارش‌های فصلی و رگباری، توپوگرافی تقریباً مسطح، خاک با نفوذپذیری پایین و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی ناکارآمد، به‌شدت در معرض خطر سیلاب‌های ناگهانی قراردارد؛ به‌گونه‌ای‌که سیلاب‌های سال‌های اخیر(به‌ویژه سیل گستردهٔ فروردین ۱۳۹۸) در این شهر خسارات مالی و جانی قابل‌توجهی به بار آورده که این امر ضرورت بازنگری در رویکردهای سنتی مدیریت سیلاب را آشکار ساخته‌است(بهمنی و محمدی ده‌چشمه، ۲۵۰:۱۴۰۲). در واقع در طی سال‌های اخیر سیلاب و آب‌گرفتگی در شهر اهواز به یکی از معضلات جدی و تکرارشونده تبدیل‌شده که ریشه در ترکیب عوامل طبیعی و انسانی(از جمله بارش‌های ناگهانی و تغییرات اقلیمی، ناکارآمدی شبکهٔ قدیمی فاضلاب، ساخت‌وسازهای غیرمجاز در بستر مسیل‌ها و غیره) دارد که این عوامل باعث شده‌اند که این شهر در برابر مخاطرهٔ سیلاب آسیب‌پذیر باشد(صفری نامیوندی،۳۰۲:۱۴۰۴)؛ بنابراین با وجود مزایای اثبات‌شدهٔ شهر اسفنجی در شهرهای مختلف جهان (از جمله شهرهای کشور چین)، اجرای این رویکرد در شهر اهواز نیازمند شناسایی دقیق شرایط بومی از جمله اقلیم، نوع خاک، توپوگرافی، ساختار نهادی و ظرفیت‌های مالی و اجتماعی است؛ بنابراین، تدوین یک چارچوب عملیاتی متناسب با ویژگی‌های شهر اهواز، گامی ضروری در مسیر تحقق شهر اسفنجی در این شهر محسوب می‌شود؛ از این‌رو، پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که ۱- شاخص‌ها و مؤلفه‌های کلیدی شهر اسفنجی برای کنترل و مدیریت سیلاب شهری در اهواز کدامند؟ ۲- اولویت‌بندی این شاخص‌ها براساس شرایط بومی شهر اهواز چگونه است؟

[1] . Song
[2] .Ma

پیشینهٔ پژوهش

تاکنون، پژوهشگران حوزه‌های مختلف از جمله برنامه‌ریزی شهری، مهندسی عمران، معماری منظر و علوم محیط-زیست به مطالعهٔ ابعاد گوناگون مفهوم شهر اسفنجی پرداخته‌اند. در ادامه در جدول(۱)، گزیده‌ای از مهم‌ترین پژوهش‌های خارجی و داخلی در این حوزه ارائه شده‌است تا ضمن شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی موجود، چارچوب نظری مناسبی برای پژوهش حاضر فراهم‌آید.

جدول۱: گزیده‌ای از پژوهش‌های خارجی و داخلی در زمینهٔ شهر اسفنجی

محقق	سال	عنوان پژوهش	نتایج
پینتو[1] و همکاران	(۲۰۲۶)	از مفهوم تا عمل: شواهد و درس‌هایی از اجرای شهر اسفنجی در شنژن، چین	نتایج نشان‌می‌دهد که مداخلات شهر اسفنجی با کاهش رواناب سطحی، کاهش جریان‌های اوج و تصفیه آلاینده‌ها، به‌ویژه در مواردی که تراکم زیرساخت‌های سبز و ظرفیت نظارت بالا است، مرتبط است.
هان[2] و همکاران	(۲۰۲۵)	ارزیابی خدمات فرهنگی اکوسیستم در زیرساخت‌های «شهر اسفنجی»: مرور نظام‌مند و پیشنهاد چارچوب	برمبنای نتایج اگرچه شهرهای اسفنجی چین مزایای اکولوژیکی دارند، اما خدمات فرهنگی آن‌ها نادیده گرفته شده‌است و جهت برنامه‌ریزی شهری، ابعاد فرهنگی و معنوی شهر اسفنجی مورد نیاز است.
ما[3] و همکاران	(۲۰۲۳)	ساخت شهر اسفنجی و توسعهٔ پایدار اقتصادی شهری براساس دیدگاه فلسفی و اکولوژیکی	براساس یافته‌ها شاخص‌هایی نظیر حجم کنترل آلودگی رواناب، نرخ کنترل سیلاب، میزان سرمایه‌گذاری در پروژه‌های ساختمانی و نرخ تصفیهٔ فاضلاب، بیشترین حساسیت را نسبت به سطح عملکرد توسعهٔ پایدار شهری دارند.
لی[4] و همکاران	(۲۰۲۲)	ارزیابی تأثیر شاخص‌های کلیدی اجتماعی در پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی «شهر اسفنجی»: با رویکرد توسعهٔ پایدار	براساس نتایج این پژوهش بُعد اجتماعی از جمله مشارکت مردمی و بخش خصوصی در پروژه‌های «شهر اسفنجی» به‌عنوان ابزاری کارآمد برای دولت‌ها و توسعه‌دهندگان زیرساخت‌های شهری کمک می‌کنند.
یین[5] و همکاران	(۲۰۲۱)	بررسی عملکرد شهر اسفنجی در چین: مروری بر ساخت، ارزیابی، بهره‌برداری و نگهداری	نتایج نشان‌می‌دهد که طراحی شهر اسفنجی نیازمند تلفیق زیرساخت‌های سبز و خاکستری برای مدیریت رواناب، کاهش سیل و جزیره گرمایی است.
گریفیث[6] و همکاران	(۲۰۲۰)	تفسیر و کاربرد دستورالعمل‌های شهر اسفنجی در چین	نتایج نشان‌می‌دهد که عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی و اجتماعی-اقتصادی، به‌ویژه تأمین مالی پایدار پروژه‌ها و ادغام آن‌ها در سیستم‌های ارزیابی شهری، نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوهٔ اجرای شهر اسفنجی دارند.
نگوین[7] و همکاران	(۲۰۱۹)	اجرای یک مدیریت آب شهری خاص از طریق شهر اسفنجی	براساس نتایج این پژوهش عدم قطعیت‌ها و نارسایی‌های مالی، جدی‌ترین مشکلاتی هستند که می‌توانند خطر شکست مفهوم شهر اسفنجی را به‌همراه داشته‌باشند
چان[8] و همکاران	(۲۰۱۸)	شهر اسفنجی در چین به‌عنوان پیشرفتی در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک سیل در بافت شهری	براساس نتایج برای دستیابی به اهداف شهر اسفنجی، توسعهٔ دستورالعمل‌های کاربری اراضی و ابزارهای ارزیابی جامع (شامل ریسک سیلاب، زهکشی و پایداری) توصیه می‌شود.

1 .Pinto
2 .Han
3 .Ma
4 .Li
5 .Yin
6 .Griffiths
7 .Nguyen
8 .Chan

تنگستانی و همکاران	(۱۴۰۵)	شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی با استفاده از روش سوارای فازی شهودی	یافته‌های پژوهش نشان‌می‌دهد که شدت بارش، دسترسی به داده‌های جامع، نفوذپذیری فضاهای شهری، سیستم‌های سنجش رواناب و یکپارچگی زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی، مهم‌ترین عوامل مؤثر در تحقق شهر اسفنجی هستند.
جمشیدی	(۱۴۰۳)	کاربست اصول طراحی مسیرهای سبز اسفنجی در مدیریت منابع آب در شهرهای کویری (موردپژوهی: مادی های شهری اصفهان)	براساس نتایج رویکرد نوین شهر اسفنجی از طریق پیاده‌سازی راهکارهای طراحی درچند حوزهٔ کلیدی، از جمله پوسته، فرم، مصالح و مدیریت منابع طبیعی عملیاتی می‌شود.
نوری و رضایی	(۱۴۰۳)	تحلیل کتاب‌سنجی و مرور ادبیات شهر اسفنجی به‌عنوان مفهومی نوظهور در مدیریت پایدار آب شهری	براساس یافته‌ها توجه به بُعد مدیریتی شهر اسفنجی، نقشی حیاتی در مدیریت پایدار منابع آب شهری ایفا می‌کند و می‌تواند مبنایی ارزشمند برای تصمیم‌گیری مدیران شهری باشد.
نوری و همکاران	(۱۴۰۲)	ارزیابی نقش شهر اسفنجی به‌عنوان شهری سبز-آبی در ارتقاء سطح خدمات اکوسیستم شهر شیراز	نتایج نشان‌داد که مهم‌ترین خدمات اکوسیستم در زیرساخت‌های سبز-آبی شهر اسفنجی شامل «تأمین آب پایدار»، «کنترل رواناب و کاهش آب‌گرفتگی» و «مدیریت ریسک سیلاب» در رتبه‌های اول تا سوم است.
صمیمی و همکاران	(۱۴۰۱)	مروری بر اجزای شهر اسفنجی ساخته-شده از بتن متخلخل در راستای توسعهٔ پایدار	نتایج نشان‌داد بتن متخلخل به‌عنوان فناوری کلیدی توانایی کنترل رواناب‌های شهری و حرکت به‌سمت توسعهٔ پایدار را دارد.
یمانی و همکاران	(۱۴۰۰)	توسعهٔ پایدار شهری با تکیه بر مفهوم شهر اسفنجی و مطالعهٔ تخصصی روسازی با بتن متخلخل در شهر اسفنجی	براساس نتایج، روسازی با بتن متخلخل به‌دلیل نفوذپذیری بالا، ضمن مدیریت روان‌آب و کاهش خطر سیلاب، به‌عنوان یکی از مؤثرترین گزینه‌ها برای پیاده‌سازی مفهوم شهر اسفنجی شناخته‌می‌شود.

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۵)

بررسی پیشینهٔ پژوهش نشان‌می‌دهد که اکثر مطالعات پیشین بر ارزیابی عملکرد کلی، ابعاد فنی-مهندسی یا خدمات اکوسیستم «شهر اسفنجی» متمرکزبوده‌اند. این پژوهش با تغییر کانون توجه از «توصیف مفاهیم» به «اولویت‌بندی مؤلفه‌ها»، مستقیماً به شناسایی معیارهای کلیدی و تعیین‌کننده در مدیریت سیلاب شهر اهواز می‌پردازد و شکاف موجود در ادبیات پژوهشی دربارهٔ تأثیر نسبی مؤلفه‌ها در شرایط خاص را پُرمی‌کند. همچنین، برخلاف مطالعاتی که غالباً بر ابعاد زیست‌محیطی یا زیرساختی تأکید داشته‌اند، این پژوهش با رویکردی جامع، ترکیبی از مؤلفه‌های کالبدی، زیست‌محیطی، اقتصادی، مدیریتی و اجتماعی را در یک چارچوب یکپارچه بررسی-می‌کند؛ از سوی دیگر، به‌کارگیری ترکیبی از روش‌های کمّی و کیفی و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مبتنی بر قضاوت خبرگان، امکان وزن‌دهی دقیق و کاهش ابهامات ذهنی در اولویت‌بندی مؤلفه‌ها را فراهم‌می‌آورد؛ در نهایت، پژوهش حاضر با تمرکز اختصاصی بر شهر اهواز، پاسخگوی نیاز مبرم به بومی‌سازی مفهوم شهر اسفنجی با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد این شهر، از جمله اقلیم گرم و خشک، الگوی بارش‌های سیل‌آسا و ناگهانی و بافت خاص شهری است.

مبانی نظری

در این بخش، مفهوم شهر اسفنجی، ریشه‌های شکل‌گیری آن، ابعاد و شاخص‌های کلیدی، نظریه‌ها و رویکردهای پشتیبان و در نهایت مدل نظری پژوهش ارائه شده‌است.

خاستگاه و مفهوم شهر اسفنجی[1]

شهر اسفنجی یکی از نوین‌ترین مفاهیم در برنامه‌ریزی‌شهری، مدیریت منابع آب و توسعهٔ پایدار شهری در دههٔ اخیر است. این مفهوم در پاسخ به چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از شهرنشینی سریع، تغییرات اقلیمی و سیلاب‌های شهری شکل گرفته‌است(جانی‌پور و امینی‌فرد، ۶:۱۴۰۲). با توجه به این‌که کشور چین در طی دهه‌های اخیر رشد شهرنشینی سرعتی بی‌سابقه را تجربه کرده‌است و نتیجهٔ این رشد شهرنشینی و شهرسازی سریع، پوشش گسترده سطوح غیرقابل نفوذ (آسفالت و بتن) در سطح شهرها بوده است، این امر منجر به پدیده‌ای به نام «جزایر گرمایی» و سیلاب‌های گسترده شهری شد(وان و ژانگ[2]،۴:۲۰۲۶). در واکنش به این وضعیت، شی جین‌پینگ در دسامبر ۲۰۱۳ و در جریان کنفرانس مرکزی امور شهرنشینی، مفهوم «شهر اسفنجی » را مطرح‌کرد(ما و همکاران، ۱۶۹۴:۲۰۲۳). هدف اصلی این رویکرد، تغییر پارادایم از «دفع سریع آب» به «مدیریت یکپارچهٔ آب در محل» بود. این رویکرد بر زیرساخت‌های سبز-آبی[3]به‌جای زیرساخت‌های خاکستری سنتی (لوله‌ها و کانال‌های بتنی) تکیه-دارد(شو[4]و همکاران، ۱۸:۲۰۲۴). برای مفهوم شهر اسفنجی تعاریف مختلفی از دیدگاه محققان مختلف ارائه شده-است. در جدول (۲) گزیده‌ای از آن ارائه شده‌است:

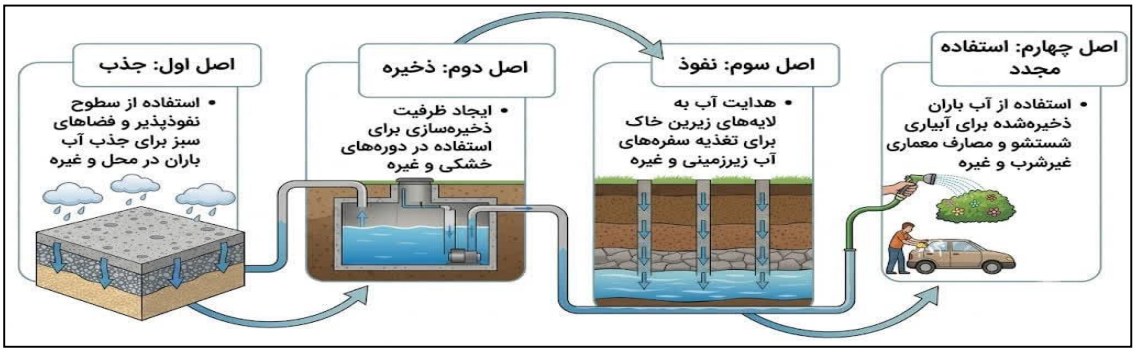
جدول۲. گزیده‌ای از تعاریف مفهوم شهر اسفنجی براساس منابع و تحقیقات مختلف

تعریف	منبع
مفهومی از شهر که مانند یک اسفنج با تغییرات محیط آبی سازگار شده و امکان جابه‌جایی آزادانه و طبیعی آب باران را فراهم‌می‌سازد.	(وان و ژانگ،۳:۲۰۲۶)
شهری که قادر است در هنگام بارش، آب را جذب، نفوذدهی، ذخیره و تصفیه کرده و در شرایط خشکی، آن‌را برای مصارف مورد نیاز آزاد کند.	(لیانگ[5]و همکاران، ۱۳:۲۰۲۰).
«شهر اسفنجی» رویکردی برای ارتقای سیستم‌های زهکشی سنتی با زیرساخت‌های مقاوم‌تر در برابر سیل و ادغام عناصر طبیعی (مانند تالاب‌ها) با فضاهای سبز مصنوعی برای کنترل رواناب است.	(سانگ،۱۶:۲۰۲۲)
«شهر اسفنجی» به‌عنوان یک استراتژی انطباقی در برابر تغییرات اقلیمی که با جایگزینی زیرساخت‌های خاکستری با زیرساخت‌های سبز و آبی، چرخه هیدرولوژیک طبیعی را بازسازی می‌کند	(ژو[6]و همکاران،۲۹۷:۲۰۲۱)

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۵)

[1] .Sponge City
[2] .Wan & Zhang
[3] .Green-Blue Infrastructure
[4] .Xu
[5] .Liang
[6] .Zhou

به‌طور کلی رویکرد «شهر اسفنجی» با تکیه بر اصول بنیادین جذب، ذخیره، تصفیه و آزادسازی هوشمندانه، چرخهٔ طبیعی آب را در بافت متراکم شهری بازآفرینی‌می‌کند(تاماکایسون و پوزیتلیمپاکول، ۲۸:۲۰۲۶)؛ رویکردی که در آن زیرساخت‌های سبز و خاک‌های نفوذپذیر، به‌جای طرد سریع و مخرب رواناب‌های سطحی، آن‌ها را همچون اسفنجی زنده جذب نموده و با فرآیندهای بیولوژیکی و فیزیکی طبیعی آلاینده‌های آن‌را تصفیه‌می‌کنند(نوری و رضایی، ۱۳۷:۱۴۰۲). شهر اسفنجی بر چهار اصل بنیادین مطابق شکل (۱) استوار است.



شکل۱: چهار اصل کلیدی شهر اسفنجی

منبع: (نگوین[1] و همکاران،۱۵۱:۲۰۱۹)

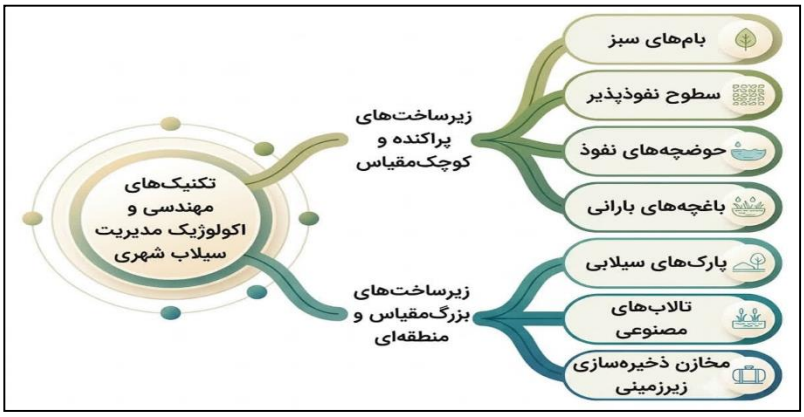
- رویکردها و نظریه‌های پشتیبان و هدایتگر شهر اسفنجی

اگرچه مفهوم و رویکرد «شهر اسفنجی» در دهه‌های ابتدایی قرن بیست‌ویکم رواج‌یافت، اما ریشه‌های فکری و فنی آن به دهه‌ها پیش بازمی‌گردد. در این زمینه در طی دهه‌های اخیر، دانشمندان و سیاست‌گذاران مفاهیم و نظریه‌های متعددی را جهت برنامه‌ریزی منابع آب و سیلاب‌های شهری پیشنهاد کرده‌اند. در ادامه رویکردها و نظریه‌های پشتیبان مفهوم شهر اسفنجی ارائه شده‌است.

- رویکرد توسعه با اثرات زیست‌محیطی کم[2]

رویکرد «توسعه با اثرات زیست‌محیطی کم»، نخستین‌بار در اوایل دهۀ ۱۹۹۰ در شهرستان پرینس جورج (مریلند، آمریکا) به‌کارگرفته‌شد(ژنگ[3] و همکاران، ۸۸۵:۲۰۲۲). هدف اصلی این رویکرد، حفظ نرخ نفوذ طبیعی، کاهش حجم و سرعت رواناب و بهبود کیفیت آب از طریق فرآیندهای طبیعی است؛ درحالی‌که در مدل سنتی، آب باران «پسماند» یا «تهدید» است که باید سریعاً دفع‌شود، در مدل کم‌تأثیر، آب باران «منبع ارزشمندی» است که باید در محل مدیریت شود(باه[4] و همکاران، ۹۰۲:۲۰۲۳). این رویکرد برای مدیریت سیلاب و رواناب، ترکیبی از تکنیک‌های مهندسی و اکولوژیک شامل دو دسته زیرساخت‌های پراکنده/کوچک‌مقیاس و زیرساخت‌های بزرگ‌مقیاس/منطقه‌ای را به‌کارمی‌گیرد که شاخص‌های آن‌ها در شکل (۲) نشان‌داده شده‌است.

---
[1] .Nguyen
[2] .Low-Impact Development - LID
[3] .Zheng
[4] .Bah



شکل۲: تکنیک‌های مهندسی و اکولوژیک رویکرد توسعهٔ کم‌تأثیر برای مدیریت سیلاب شهری.

منبع: (سانگ، ۲۰۲۲:۴)

- رویکرد سیستم زهکشی شهری پایدار[1]

در پاسخ به ناکارامدی روش‌های سنتی زهکشی، بریتانیا در دههٔ ۱۹۶۰ رویکرد سیستم‌های زهکشی پایدار را با تمرکز بر حفاظت از محیط‌زیست طبیعی به‌منظور حفظ چرخهٔ آب توسعه‌داد. در واقع رویکرد SUDS یک تغییر پارادایم از "مبارزه با آب" به "همکاری با آب" است. این روش شهرها را در برابر تغییرات اقلیمی، سیلاب‌های ناگهانی و کمبود آب مقاوم‌تر می‌کند و کیفیت زندگی ساکنان را با ایجاد فضاهای سبز و زیبا بهبود می‌بخشد(نوری و رضایی،۱۴۰۳:۲۲). رویکرد سیستم زهکشی شهری بر مؤلفه‌هایی مانند: شبیه‌سازی طبیعت، مدیریت آب در مبدأ و چندمنظوره‌بودن(توجه به زیبایی بصری، تنوع زیستی و رفاه اجتماعی) استوار است (تانسار و دووان[2]،۲۰۲۵:۶). این رویکرد بر استفاده از ترکیبی از راهکارهای مختلف به‌صورت شکل(۳) برای مدیریت رواناب و سیلاب‌های شهری تأکیدمی‌کند.



شکل۳. راهکارهای مختلف مدیریت سیلاب‌های شهری براساس رویکرد سیستم زهکشی شهری پایدار.

(منبع: کانسیان[3]و همکاران، ۲۰۲۵:۲۵۲۴)

[1] .Sustainable urban drainage system (SUDS)
[2] .Tansar &Duan
[3] .Cansian

- رویکرد طراحی شهری حساس به آب[1]

رویکرد "طراحی شهری حساس به آب، الگوی جدیدی است که از دهۀ ۱۹۹۰ و برای نخستین‌بار در استرالیا، مورد استفاده قرارگرفته‌است و هدف اصلی آن بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شهری و مدیریت چرخۀ آب با ترکیب برنامه‌ریزی و طراحی شهری با تأسیسات تأمین آب، آب باران و فاضلاب در مقیاس‌های مکانی مختلف از شهر است(عشرتی و همکاران،۱۴۰۱:۱۱۰). در واقع این رویکرد، نوعی تغییر نگرش از «مدیریت پساب و دفع آب» به «مدیریت چرخۀ کامل آب» با تأکید بر حفظ کیفیت، کمیت و ارزش اکولوژیک آب است و نه‌تنها به پایداری منابع آب کمک می‌کند، بلکه کیفیت زندگی شهری را با ایجاد فضاهای سبز زیباتر، هوای پاک‌تر و کاهش خطر سیلاب بهبود می‌بخشد. سه محور اصلی شهر حساس به آب در شکل(۴) نشان‌داده شده‌است.



شکل۴. سه محور اصلی رویکرد طراحی شهری حساس به آب جهت مدیریت منابع آب شهری

(منبع: عشرتی و همکاران،۱۴۰۱:۱۱۲)

ابعاد و شاخص‌های شهر اسفنجی

در این بخش، ابعاد و شاخص‌های مختلف شهر اسفنجی از دیدگاه محققان مختلف ارائه شده‌است. در این زمینه برای کنترل و مدیریت رواناب‌های شهری، معیارهای فنی کلیدی شامل یکپارچگی زیرساخت‌ها مانند تلفیق بهینه زیرساخت‌های سبز (بام‌ها و دیوارهای سبز) با زیرساخت‌های خاکستری و آبی پیشنهاد شده‌است (هی و همکاران، ۱۴۹:۲۰۱۹). برخی محققان بر معیارهای مدیریت آب شهری از جمله روسازی‌های نفوذپذیر و متخلخل، زیرساخت-های طبیعی و بیولوژیکی (تأسیسات بیولوژیکی، تالاب‌ها و گودال‌های نفوذ)، سیستم‌های سبز شهری (بام‌های سبز، فضاهای سبز، باغ‌های بارانی و دیوارهای سبز) (زیاری و منصوری اطمینان، ۲:۱۴۰۲) و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها مانند توسعه و توزیع مطلوب فضاهای نفوذپذیر و مقاوم‌سازی محیط‌های شهری در برابر سیلاب‌ها تمرکزداشته‌اند (یانگ و ژنگ، ۵۶۱:۲۰۲۰). همچنین بر یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی و مدیریت کیفیت منابع آبی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی) اشاره شده‌است (نگوین و همکاران، ۱۴۸:۲۰۱۹). از دیدگاه

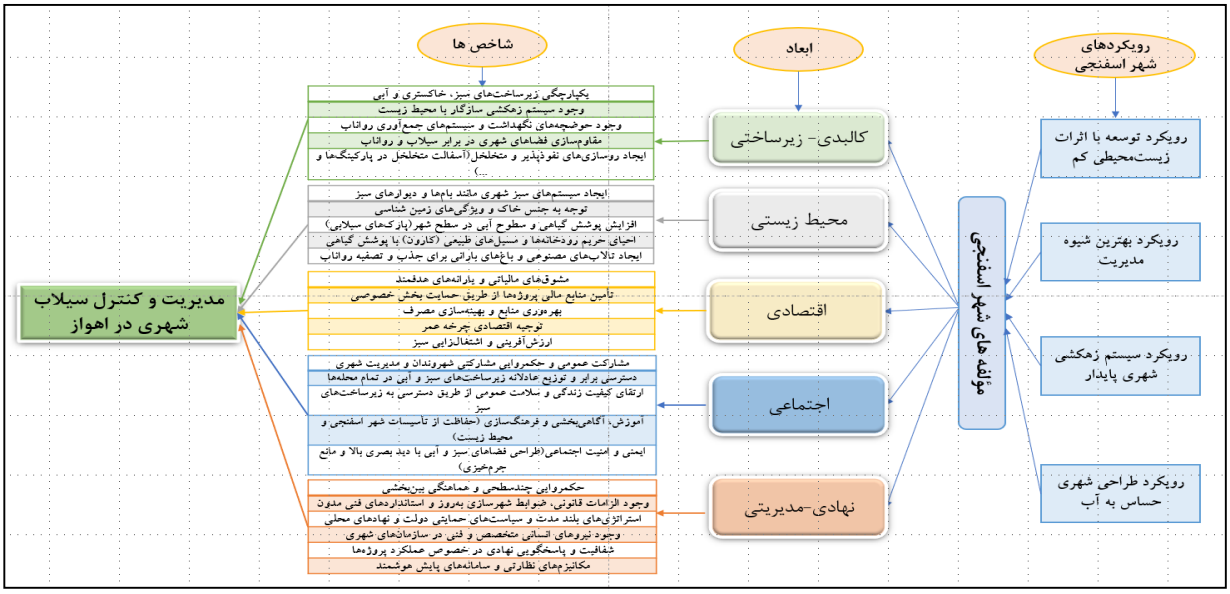
[1] .Water Sensitive Urban Design - WSUD

برخی دیگر، افزایش پوشش گیاهی و سطوح آبی به کاهش اثر «جزیره گرمایی شهری» و افزایش تاب‌آوری در برابر گرمایش جهانی کمک می‌کند (لیانگ و همکاران، ۱۵:۲۰۲۰) و حفظ تنوع زیستی مانند: ایجاد تالاب‌ها، باغ‌های بارانی و فضاهای سبز پیوسته به کنترل رواناب‌ها کمک می‌نماید (وانگ و همکاران، ۵۴:۲۰۲۱).

شاخص‌های اجتماعی مانند: آگاهی‌بخشی عمومی و برگزاری دوره‌ها و کمپین‌های آموزشی برای ارتقای دانش زیست‌محیطی (لی و همکاران، ۱۳۲۹:۲۰۲۲)، مشارکت شهروندان با دولت (ما و همکاران، ۱۶۹۵:۲۰۲۳) و عدالت فضایی در توزیع عادلانهٔ مزایای زیرساخت‌های سبز و آبی در تمام محله‌ها (جیانگ و همکاران، ۲۰۸۳:۲۰۲۲) در بهبود اجرای اقدامات شهر اسفنجی مؤثرند. برخی محققان بر بودجه‌ریزی و گذر از هزینه‌های کوتاه‌مدت به سرمایه-گذاری بلندمدت چرخهٔ عمر، قیمت‌گذاری واقعی منابع آب و انرژی (شو و همکاران، ۱۸:۲۰۲۴) و مدل‌های تأمین مالی نوین مانند مشارکت عمومی-خصوصی و سیستم‌های دقیق پایش هزینه‌ها و منافع تأکیدکرده‌اند (گریفیث و همکاران، ۱۸:۲۰۲۰). همچنین یارانه‌ها و تسهیلات مالی دولتی، ارزیابی‌های اقتصادی برای سنجش کارایی و محاسبه هزینه‌های بلندمدت نگهداری و اجرا مورد توجه بوده‌است (لئو و همکاران، ۳۵:۲۰۲۲). به اعتقاد برخی، موفقیت شهر اسفنجی نیازمند همکاری بین‌بخشی و مشارکت ذی‌نفعان (شهرداری، وزارت نیرو، سازمان محیط-زیست و مردم)، سیاست‌های حمایتی دولت، استراتژی‌های بلندمدت مدیریت منابع آبی (تنگستانی و همکاران، ۱۴:۱۴۰۵)، مکانیزم‌های نظارتی، سامانه‌های پایش هوشمند و فناوری‌های نوین، مدیریت اطلاعات و پایگاه داده‌ها، ارزیابی منظم دوره‌ای، نیروی انسانی متخصص، الزامات قانونی، ضوابط شهرسازی به‌روز و استانداردهای فنی مدوّن است (لو و همکاران، ۱۰۹۳:۲۰۲۵).

با توجه به آن‌چه که در بخش پیشینه و مبانی نظری پژوهش ارائه‌شد، به‌طور کلی می‌توان‌گفت که شهر اسفنجی فراتر از یک اصطلاح فنی برای مدیریت رواناب، یک پارادایم جامع شهری است که ابعاد زیست‌محیطی، کالبدی-زیرساختی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی را در یک چارچوب یکپارچه تلفیق‌می‌کند. این رویکرد نوین با به-رسمیت‌شناختن شهر به‌عنوان یک اکوسیستم زنده، به‌جای مبارزه با طبیعت، بر هم‌زیستی و همکاری با چرخه‌های طبیعی آب تأکید دارد(وانگ[1] و همکاران،۲۴۹:۲۰۲۵)؛ بنابراین، از آن‌جا که شهر اسفنجی یک سیستم پیچیده و چندبُعدی است، موفقیت در اجرای آن نیازمند برنامه‌ریزی‌های جامع و همزمان در تمام ابعاد است؛ چرا که تمرکز صرف بر جنبه‌های کالبدی بدون توجه به ملاحظات، محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی، نمی‌تواند به شهری پایدار، زیبا و مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی منجرشود. بر این اساس، مدل نظری پژوهش به‌صورت شکل(۵) ترسیم شده‌است.

[1] .Wang

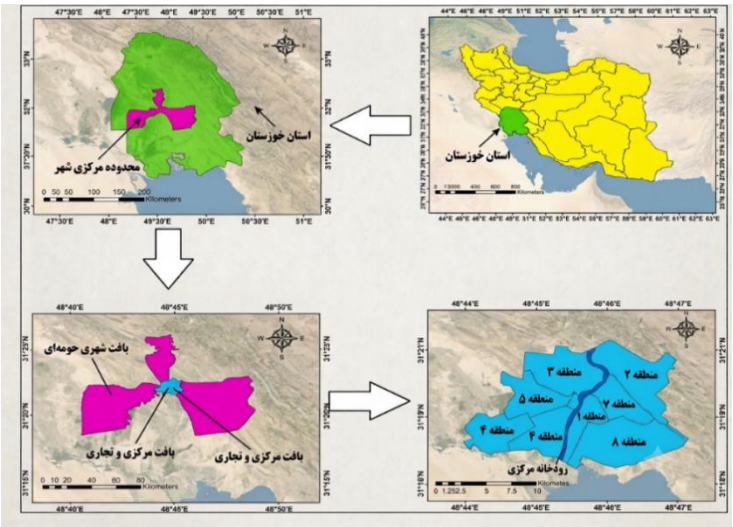


شکل۵. مدل نظری پژوهش.

(ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۵)

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز، مرکز استان خوزستان و یکی از قطب‌های زیست‌محیطی و اقتصادی جنوب غرب ایران است. این شهر از نظر مختصات ریاضی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع‌شده و به‌عنوان یک همواری جلگه‌ای، ارتفاع متوسط آن از سطح دریا متبوع ۱۸ متر است. براساس آخرین سرشماری رسمی کشور (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، این کلان‌شهر جمعیتی بالغ بر ۱،۳۰۲،۵۹۱ نفر را در خود جای داده‌است. از حیث تقسیمات کالبدی و مدیریت شهری، اهواز به ۸ منطقه کلان‌شهری، ۳۴ ناحیه و ۱۲۴ محله تفکیک می‌شود که محدوده و هندسهٔ جغرافیایی آن در (شکل ۶) به‌تصویر کشیده شده‌است. با توجه به ساختار توپوگرافی هموار، شیب بسیارکم زمین و عبور رودخانهٔ کارون، این شهر همواره در برابر مخاطرات آب‌وهوایی به‌ویژه تاب‌آوری شبکه هدایت روان‌آب‌ها آسیب‌پذیر بوده‌است؛ از این‌رو، ارزیابی این محدوده برمبنای مؤلفه‌های «شهر اسفنجی» به‌عنوان رویکردی نوین در راستای مدیریت، مهار و کنترل سیلاب‌های شهری، ضرورت مبنایی این پژوهش را تشکیل-می‌دهد.



شکل۶. موقعیت جغرافیایی شهر اهواز.

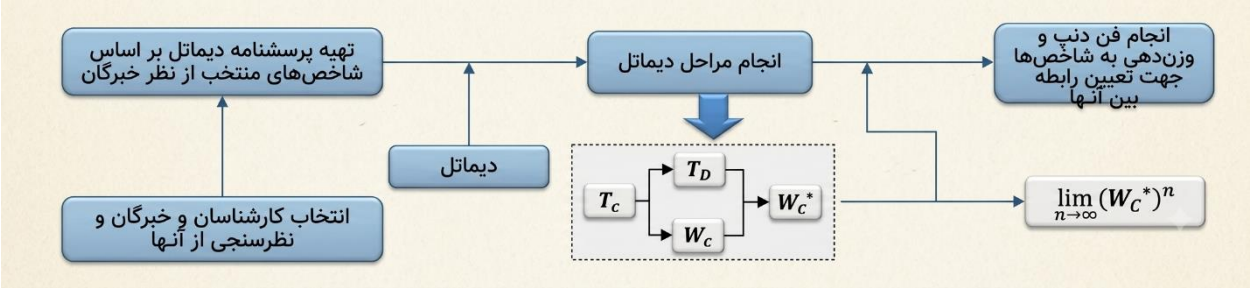
(منبع: تگارنده، ۱۴۰۵)

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، یک تحقیق آمیخته (کیفی-کمّی) و تحلیلی-اکتشافی است که با هدف شناسایی، ساختاردهی و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها و شاخص‌های شهر اسفنجی در راستای مدیریت و مهار سیلاب‌های شهری در کلان‌شهر اهواز انجام شده‌است. فرآیند اجرای این مطالعه جهت پاسخ‌گویی دقیق به اهداف ترسیم‌شده، در دو گام اساسی سازماندهی گردید؛ در گام اول که به بخش کیفی اختصاص‌داشت، به‌منظور استخراج جامع و نظام‌مند شاخص‌های توسعهٔ شهر اسفنجی، از روش تحلیل محتوای کیفی و مطالعات اسنادی-کتابخانه‌ای استفاده‌شد. در این مرحله با مرور دقیق ادبیات نظری، پیشینه‌های پژوهشی داخلی و بین‌المللی و ضوابط فنی مدیریت هیدرولوژیک شهری، معیارهای اولیه استخراج‌شد. خروجی این گام کیفی، تدوین ۲۶ شاخص کلیدی در قالب ۵ بُعد ساختاری شامل: بعد کالبدی-زیرساختی، بعد محیط‌زیستی (با تأکید بر حریم رودخانه کارون)، بعد اقتصادی، بعد اجتماعی و بعد نهادی-مدیریتی بود که ساختار مفهومی و کدهای مرتبط با آن به تفکیک در قالب جدول (۱) تنظیم و نهایی‌گردید.

در گام دوم، جهت تحلیل ساختاری، تبیین روابط درونی و تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این ابعاد ۵گانه در محیط سیل‌خیز شهر اهواز، بخش کمّی پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره دیماتل (DEMATEL)اجرا شد؛ این‌روش فازی-ماتریسی برپایهٔ مدل‌های ریاضی قادر است روابط علّی و معلولی میان مؤلفه‌های شهر اسفنجی را در یک شبکهٔ یکپارچه ساختاردهی کند. از آن‌جا که به‌کارگیری تکنیک دیماتل نیازمند قضاوت تخصصی و شناخت عمیق از محیط است، از روش نمونه‌گیری هدفمند (قضاوت شهودی) جهت انتخاب ۳۰ نفر از خبرگان و متخصصان ارشد برنامه‌ریزی کالبدی، مدیریت هیدرولوژی، کارشناسان شهرداری اهواز و سازمان مدیریت بحران استان خوزستان استفاده‌شد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در این بخش، پرسش‌نامهٔ ماتریسی روابط متقابل دیماتل (۲۶*۲۶) بود که توسط خبرگان براساس طیف کلامی مشخص امتیازدهی گردید. روایی محتوایی این ابزار به‌واسطهٔ استخراج از متون معتبر و تأیید پنل تخصص احراز شد و پایایی آن نیز از طریق روش آزمون

مجدد (Test-Retest) با فاصله زمانی دو هفته‌ای سنجیده‌شد که کسب ضریب همبستگی بـالای ۰/۹۲، پایـداری و قابلیت‌اعتماد بالای ابزار پژوهش را تأییدنمود؛ ساختارکلی این‌فرآیند عملیاتی در شکل ۷ به‌تصویر کشیده شده‌است.



شکل۷. مراحل انجام پژوهش

براساس مطالبی که در بخش پیشینه و مبانی نظری ارائه‌شد، ابعاد و شاخص‌های پژوهش در یک دسته‌بنـدی کـلان به‌صورت جدول(۳) ارائه شده‌است.

جدول۳. ابعاد و شاخص‌های شهر اسفنجی

بعد	شاخص	کد
کالبدی- زیرساختی(P)	یکپارچگی زیرساخت‌های سبز، خاکستری و آبی	P1
	وجود سیستم زهکشی سازگار با محیط‌زیست(مانند گذرگاه‌های گیاهی و...)	P2
	وجود حوضچه‌های نگهداشت و سیستم‌های جمع‌آوری رواناب	P3
	مقاوم‌سازی فضاهای شهری در برابر سیلاب و رواناب	P4
	ایجاد روسازی‌های نفوذپذیر و متخلخل(آسفالت متخلخل در پارکینگ‌ها و ...)	P5
محیط زیستی(EN)	ایجاد سیستم‌های سبز شهری مانند بام‌ها و دیوارهای سبز	EN1
	توجه به جنس خاک و ویژگی‌های زمین شناسی	EN2
	افزایش پوشش گیاهی و سطوح آبی در سطح شهر(پارک‌های سیلابی)	EN3
	احیای حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های طبیعی (کارون) با پوشش گیاهی	EN4
	ایجاد تالاب‌های مصنوعی و باغ‌های بارانی برای جذب و تصفیه رواناب	EN5
اقتصادی(E)	مشوق‌های مالیاتی و یارانه‌های هدفمند برای ایجاد زیرساخت‌های شهر اسفنجی	E1
	تأمین منابع مالی پروژه‌های شهر اسفنجی از طریق حمایت بخش خصوصی	E2
	بهره‌وری منابع و بهینه‌سازی مصرف(کاهش مصرف آب شرب در فضای سبز و...)	E3
	توجیه اقتصادی چرخه عمر(کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات شبکه خاکستری)	E4
	ارزش‌آفرینی و اشتغال‌زایی سبز(توسعهٔ گردشگری و مشاغل جدید در حوزهٔ سازه‌های سبز)	E5
اجتماعی(S)	مشارکت عمومی و حکمروایی مشارکتی(درگیر کردن شهروندان در پروژه‌های شهر اسفنجی)	S1
	دسترسی برابر و توزیع عادلانه زیرساخت‌های سبز و آبی در تمام محله‌ها	S2
	ارتقای کیفیت زندگی و سلامت عمومی از طریق دسترسی به زیرساخت‌های سبز	S3
	آموزش، آگاهی‌بخشی و فرهنگ‌سازی (حفاظت از تأسیسات شهر اسفنجی و محیط‌زیست)	S4
	ایمنی و امنیت اجتماعی(طراحی فضاهای سبز و آبی با دید بصری بالا و مانع جرم‌خیزی)	S5
نهادی- مدیریتی(M)	حکمروایی چندسطحی و هماهنگی بین‌بخشی(ساختار هماهنگ بین سازمان‌های مرتبط)	M1
	وجود الزامات قانونی، ضوابط شهرسازی به‌روز و استانداردهای فنی مدون	M2
	استراتژی‌های بلند مدت و سیاست‌های حمایتی دولت و نهادهای محلی در زمینه پروژه‌های شهر اسفنجی	M3
	وجود نیروهای انسانی متخصص و فنی در سازمان‌های شهری	M4
	شفافیت و پاسخگویی نهادی دخصوص عملکرد پروژه‌های شهر اسفنجی	M5
	وجود مکانیزم‌های نظارتی و سامانه‌های پایش هوشمند (ارزیابی دوره‌ای کارایی پروژه‌ها و ...)	M6

منبع: (لو و همکاران(۲۰۲۵)، لیانگ و همکاران (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۱)، ژو و همکاران (۲۰۲۱)، ما و همکاران(۲۰۲۳)، هی و همکاران (۲۰۱۹)، شو و همکاران (۲۰۲۴) تنگستانی و همکاران(۱۴۰۵))

یافته‌های پژوهش

به‌منظور شناسایی و تعیین معیارهای ارزیابی مؤلفه‌های شهر اسفنجی در کلان‌شهر اهواز، از دانش و تجارب تخصصی کارشناسان و خبرگان حوزه‌های هیدرولوژی، مدیریت بحران و برنامه‌ریزی شهری بهره گرفته شده‌است. در گام نخست، با به‌کارگیری روش دلفی، دیدگاه‌های این متخصصان در قالب یک ماتریس تصمیم‌گیری جامع گردآوری و تحلیل‌شد تا میزان اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌ها و ابعاد شهر اسفنجی به‌دقت برآوردگردد. در مرحلهٔ بعد، جهت تحلیل روابط متقابل و تعیین دقیق وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مدیریت رواناب، از رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه (DANP) استفاده‌شد؛ به‌طوری‌که ابتدا روابط علّی و معلولی میان متغیرها از طریق دیمتل مشخص‌گردید و سپس نتایج حاصل به‌عنوان مبنای ساخت مدل شبکه‌ای تحلیل فرآیند (ANP) برای کل سیستم اعمال‌شد. در این فرآیند، با لحاظ‌کردن صفربودن درایه‌های قطر اصلی در ماتریس ارتباط مستقیم اولیه، ماتریس نرمال‌شده براساس روابط ریاضی مربوطه محاسبه‌گردید که جزئیات آن در جدول (۳) ارائه شده‌است. در نهایت، یافته‌های ساختاریافتهٔ حاصل از این مدل‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب کاربردی و تصمیم‌ساز، مدیران و برنامه‌ریزان شهری اهواز را در راستای پیاده‌سازی بهینهٔ پروژه‌های شهر اسفنجی و مهار هوشمندانه سیلاب‌های شهری یاری‌رساند.

گام اول: محاسبهٔ ماتریس ارتباط مستقیم: در این گام از خبرگان خواسته‌شد تا میزان تأثیرگذاری معیار i بر معیار j در بازه ۰ تا ۴ (از ضعیف به قوی) را نشان‌دهند. میانگین نظرات ۳۰ نفر خبره پژوهش در ماتریس ارتباط مستقیم قرارگرفت.

گام دوم: نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم: برای نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم، کلیهٔ عناصر ماتریس بر بزرگترین عدد به‌دست‌آمده از جمع سطرهای ماتریس تقسیم شده‌است تا شدت نسبی حاکم بر روابط مستقیم تعیین‌شود.[1]

گام سوم: ماتریس ارتباط کامل ابعاد(T_D): ماتریس ارتباطات کامل معیارها از طریق فرمول زیر به‌دست‌آمد که در آن ماتریس نرمال و ماتریس واحد است .ماتریس ارتباطات کامل ابعاد در جدول (۴) نمایش‌داده شده‌است.

جدول۴. ماتریس ارتباط کامل ابعاد

تأثیر گذاری	M	S	E	EN	P	TD
۱/۶۱۷	۰/۳۳۰	۰/۳۳۲	۰/۳۱۵	۰/۳۰۹	۰/۳۳۱	کالبدی- زیرساختی(P)
۱/۵۹۰	۰/۳۲۳	۰/۳۲۷	۰/۳۱۱	۰/۳۰۲	۰/۳۲۷	محیط‌زیستی(EN)
۱/۵۵۵	۰/۳۱۶	۰/۳۱۹	۰/۳۰۴	۰/۲۹۴	۰/۳۲۲	اقتصادی(E)
۱/۵۳۷	۰/۳۱۳	۰/۳۱۶	۰/۳۰۰	۰/۲۸۹	۰/۳۱۹	اجتماعی(S)
۱/۵۶۶	۰/۳۱۹	۰/۳۲۲	۰/۳۰۶	۰/۲۹۳	۰/۳۲۶	نهادی- مدیریتی(M)
	۱/۶۰۱	۱/۶۱۷	۱/۵۳۵	۱/۴۸۷	۱/۶۲۶	تأثیرپذیری

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

[1] به‌دلیل محدودیت فصلنامه از آوردن جداول مربوط به گام اول و دوم خودداری‌شد.

جدول(۴) نشان‌می‌دهد که بُعد «کالبدی-زیرساختی (P)» با کسب بالاترین میزان تأثیرگذاری (۱,۶۱۷) و تأثیرپذیری (۱,۶۲۶)، به‌عنوان محور کلیدی و پیشران در پیاده‌سازی الگوی شهر اسفنجی در اهواز عمل‌می‌کند که نشان‌دهندهٔ وابستگی متقابل شدید سایر ابعاد به بسترهای فیزیکی و مهندسی است؛ در مقابل، ابعاد «محیط زیستی (EN)» و «نهادی-مدیریتی (M)» علی‌رغم تأثیرگذاری قابل توجه، در جایگاه‌های بعدی قراردارند که مؤید آن است که هرگونه اقدام در زمینهٔ مدیریت سیلاب در اهواز، ابتدا نیازمند تقویت زیرساخت‌های کالبدی و اصلاح نظام مدیریت یکپارچه است تا بستری برای تحقق‌پذیری شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی فراهم‌شود؛ همچنین، پایین‌تربودن مقادیرِ ابعاد «اقتصادی (E)» و «اجتماعی (S)» در شبکه ارتباطات، بیانگر آن است که این مؤلفه‌ها در اولویت‌های ثانویه یا متأثر از تصمیمات کلان کالبدی و مدیریتی قراردارند و برای پایداری شهر اسفنجی، باید به‌عنوان بازوهای حمایتی در کنار اقدامات زیرساختی تقویت‌شوند.

گام چهارم: نرمال‌سازی ماتریس ارتباطات کامل ابعاد (T_D): ماتریس (T_D) که حاصل‌جمع هر سطر محاسبه‌شده و هر عنصر بر مجموع عناصر سطر مربوط به خود تقسی گردید؛ سپس جای سطر و ستون ماتریس حاصل، عوض‌شد. ماتریس ارتباطات کامل نرمال‌شدهٔ ابعاد به‌صورت ذیل در جدول (۵) نشان داد شد.

جدول۵: ماتریس ارتباط کامل نرمال‌شدهٔ ابعاد

TD	P	EN	E	S	M
کالبدی- زیرساختی(P)	۰/۲۰۵	۰/۱۹۱	۰/۱۹۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۴
محیط‌زیستی(EN)	۰/۲۰۶	۰/۱۹۰	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	۰/۲۰۳
اقتصادی(E)	۰/۲۰۷	۰/۱۸۹	۰/۱۹۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۳
اجتماعی(S)	۰/۲۰۸	۰/۱۸۸	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	۰/۲۰۴
نهادی- مدیریتی(M)	۰/۲۰۹	۰/۱۸۷	۰/۱۹۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۴

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

گام پنجم: تشکیل ماتریس ارتباطات کامل معیارها (T_C): ماتریس ارتباطات کامل معیارها از طریق فرمول ذیل به‌دست‌می‌آید که در آن ماتریس نرمال و ماتریس واحد است. جدول (۶) ماتریس ارتباط کامل معیارها را نشان‌می‌دهد.

جدول۶. ماتریس ارتباط کامل معیارها

TC	P1	P2	P3	P4	P5	EN1	EN2	EN3	EN4	EN5	E1	E2	E3	E4	E5	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۷
P2	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۷
P3	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۳۶
P4	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۴
P5	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۵
EN1	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴
EN2	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲
EN3	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۴
EN4	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۳۸
EN5	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۸
E1	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴
E2	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۶
E3	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۵
E4	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۲
E5	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۵
S1	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۲
S2	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۵
S3	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۶
S4	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۶
S5	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۱
M1	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۹
M2	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۴
M3	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۳۲
M4	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۰
M5	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۳۰
M6	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۲

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

گام ششم: نرمال‌سازی ماتریس ارتباطات کامل معیارها(T^a_c): جهت نرمال‌سازی (T_C) مجموع هر سطر (T_c^{ij})محاسبه و سپس در هر سطر (T_c^i) هر عنصر بر مجموع عناصر سطر مربوط به خود تقسیم‌گردید. جدول (۷) ماتریس ارتباطات کامل نرمال‌شدهٔ معیارها را نشان‌می‌دهد.

جدول۷. ماتریس ارتباط کامل نرمال‌شدهٔ معیارها

TC(N)	P1	P2	P3	P4	P5	EN1	EN2	EN3	EN4	EN5	E1	E2	E3	E4	E5	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	۰/۱۸۹	۰/۲۰۸	۰/۲۰۸	۰/۱۸۶	۰/۲۰۹	۰/۱۸۹	۰/۲۰۹	۰/۱۹۹	۰/۲۰۸	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۰/۲۰۴	۰/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۲۰۸	۰/۱۷۹	۰/۲۰۹	۰/۲۱۳	۰/۱۹۱	۰/۲۰۸	۰/۱۷۲	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵	۰/۱۷۱	۰/۱۶۸	۰/۱۷۸
P2	۰/۲۱۲	۰/۱۸۷	۰/۲۰۹	۰/۱۸۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۲	۰/۱۹۰	۰/۲۰۲	۰/۲۱۲	۰/۱۹۲	۰/۲۰۳	۰/۱۸۰	۰/۲۱۱	۰/۲۱۶	۰/۱۸۳	۰/۲۱۰	۰/۱۷۱	۰/۱۵۶	۰/۱۵۴	۰/۱۸۱	۰/۱۵۵	۰/۱۸۲
P3	۰/۲۱۶	۰/۲۰۹	۰/۱۸۳	۰/۱۸۶	۰/۲۰۵	۰/۱۹۴	۰/۲۱۱	۰/۱۹۵	۰/۲۱۰	۰/۱۹۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۲۱۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۸	۰/۱۷۳	۰/۲۱۳	۰/۲۱۵	۰/۱۸۶	۰/۲۱۴	۰/۱۶۹	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸	۰/۱۸۱	۰/۱۵۴	۰/۱۸۳
P4	۰/۲۱۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۳	۰/۱۶۸	۰/۲۱۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۲	۰/۱۸۹	۰/۲۱۳	۰/۱۹۶	۰/۱۹۰	۰/۲۰۵	۰/۲۰۰	۰/۱۹۸	۰/۲۰۷	۰/۱۸۴	۰/۲۰۰	۰/۲۱۱	۰/۱۹۰	۰/۲۱۵	۰/۱۷۳	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۷۵	۰/۱۶۴	۰/۱۷۸
P5	۰/۲۱۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۷	۰/۱۹۳	۰/۱۸۳	۰/۱۹۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۱	۰/۲۱۰	۰/۱۹۷	۰/۱۹۱	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۱۹۸	۰/۲۰۴	۰/۱۸۳	۰/۲۰۸	۰/۲۱۳	۰/۱۸۸	۰/۲۰۸	۰/۱۷۰	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۶۹	۰/۱۶۴	۰/۱۸۴
EN1	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۳	۰/۱۸۸	۰/۲۰۳	۰/۱۷۸	۰/۲۱۱	۰/۱۹۹	۰/۲۱۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۲	۰/۲۰۲	۰/۲۰۳	۰/۱۹۷	۰/۲۰۶	۰/۱۸۸	۰/۲۰۱	۰/۲۱۲	۰/۱۸۸	۰/۲۱۰	۰/۱۷۶	۰/۱۴۵	۰/۱۵۸	۰/۱۷۶	۰/۱۶۶	۰/۱۷۹
EN2	۰/۲۱۲	۰/۲۰۰	۰/۲۰۳	۰/۱۸۵	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۱۸۶	۰/۱۹۸	۰/۲۰۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۳	۰/۲۰۸	۰/۲۰۶	۰/۱۹۳	۰/۱۹۹	۰/۱۷۸	۰/۲۰۸	۰/۲۱۶	۰/۱۸۸	۰/۲۱۱	۰/۱۶۹	۰/۱۵۷	۰/۱۵۰	۰/۱۷۵	۰/۱۷۱	۰/۱۷۸
EN3	۰/۲۰۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۹	۰/۱۸۸	۰/۲۰۲	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۱۷۶	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۱۹۱	۰/۲۰۵	۰/۲۱۰	۰/۱۹۸	۰/۱۹۵	۰/۱۷۵	۰/۲۰۹	۰/۲۱۰	۰/۱۹۵	۰/۲۱۱	۰/۱۷۲	۰/۱۴۸	۰/۱۵۷	۰/۱۷۷	۰/۱۶۵	۰/۱۸۰
EN4	۰/۲۱۰	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۱۸۳	۰/۲۰۱	۰/۲۰۴	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۱۹۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۸	۰/۲۰۰	۰/۲۱۱	۰/۱۹۰	۰/۲۰۱	۰/۱۷۳	۰/۲۱۳	۰/۲۱۸	۰/۱۸۵	۰/۲۱۲	۰/۱۷۰	۰/۱۵۶	۰/۱۴۶	۰/۱۷۹	۰/۱۶۷	۰/۱۸۲
EN5	۰/۲۱۰	۰/۲۰۴	۰/۲۰۱	۰/۱۸۵	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۹	۰/۱۹۹	۰/۲۱۵	۰/۱۷۸	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۲۱۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۹	۰/۱۸۷	۰/۲۰۷	۰/۲۱۴	۰/۱۸۳	۰/۲۰۸	۰/۱۶۸	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۷۸	۰/۱۶۳	۰/۱۸۱
E1	۰/۲۰۸	۰/۱۹۹	۰/۲۰۲	۰/۱۸۸	۰/۲۰۲	۰/۱۹۸	۰/۲۰۴	۰/۱۹۲	۰/۲۱۱	۰/۱۹۵	۰/۱۷۲	۰/۲۰۷	۰/۲۱۷	۰/۱۹۹	۰/۲۰۴	۰/۱۸۴	۰/۱۹۹	۰/۲۱۳	۰/۱۸۹	۰/۲۱۵	۰/۱۷۱	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۷۴	۰/۱۶۵	۰/۱۷۷
E2	۰/۲۱۳	۰/۱۹۷	۰/۲۰۲	۰/۱۸۳	۰/۲۰۶	۰/۱۹۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۳	۰/۲۰۷	۰/۱۹۸	۰/۱۹۹	۰/۱۸۸	۰/۲۰۷	۰/۱۹۸	۰/۲۰۸	۰/۱۸۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۶	۰/۱۸۲	۰/۲۱۳	۰/۱۷۰	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۷۶	۰/۱۶۳	۰/۱۷۹
E3	۰/۲۰۷	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۱۸۵	۰/۲۰۲	۰/۱۹۶	۰/۲۰۳	۰/۱۹۶	۰/۲۰۶	۰/۱۹۵	۰/۱۹۷	۰/۲۱۲	۰/۱۸۸	۰/۱۹۸	۰/۲۰۵	۰/۱۸۵	۰/۲۰۴	۰/۲۱۴	۰/۱۸۶	۰/۲۱۱	۰/۱۷۰	۰/۱۵۵	۰/۱۵۷	۰/۱۷۵	۰/۱۶۴	۰/۱۷۸
E4	۰/۲۰۶	۰/۲۰۰	۰/۱۹۷	۰/۱۹۵	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۱۹۵	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۲۰۴	۰/۲۱۴	۰/۱۷۷	۰/۲۰۰	۰/۱۷۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۲	۰/۱۸۶	۰/۲۱۵	۰/۱۶۵	۰/۱۵۷	۰/۱۵۸	۰/۱۷۶	۰/۱۶۵	۰/۱۷۹
E5	۰/۲۱۱	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۱۸۷	۰/۲۰۱	۰/۱۹۳	۰/۲۰۷	۰/۱۹۶	۰/۲۰۷	۰/۱۹۶	۰/۱۹۵	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۲۰۳	۰/۱۸۴	۰/۱۸۲	۰/۲۰۳	۰/۲۱۴	۰/۱۸۹	۰/۲۱۲	۰/۱۷۳	۰/۱۵۵	۰/۱۵۳	۰/۱۷۶	۰/۱۶۵	۰/۱۷۹
S1	۰/۲۰۶	۰/۲۰۲	۰/۲۰۴	۰/۱۸۷	۰/۲۰۱	۰/۱۹۷	۰/۲۰۱	۰/۱۹۵	۰/۲۰۰	۰/۲۰۶	۰/۱۸۹	۰/۲۱۰	۰/۲۰۷	۰/۱۹۴	۰/۲۰۰	۰/۱۶۵	۰/۲۱۱	۰/۲۱۹	۰/۱۹۱	۰/۲۱۴	۰/۱۷۰	۰/۱۵۰	۰/۱۵۵	۰/۱۸۰	۰/۱۶۲	۰/۱۸۳
S2	۰/۲۱۱	۰/۲۰۹	۰/۲۰۳	۰/۱۸۰	۰/۱۹۷	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	۰/۱۹۸	۰/۱۹۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱۲	۰/۱۸۷	۰/۱۹۷	۰/۱۹۲	۰/۱۸۶	۰/۲۱۱	۰/۱۹۵	۰/۲۱۶	۰/۱۶۸	۰/۱۵۸	۰/۱۵۵	۰/۱۷۷	۰/۱۶۲	۰/۱۸۰
S3	۰/۲۰۴	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۱۸۲	۰/۱۹۶	۰/۱۹۷	۰/۲۰۷	۰/۱۹۴	۰/۲۰۷	۰/۱۹۴	۰/۱۹۲	۰/۲۱۲	۰/۲۰۲	۰/۱۹۲	۰/۲۰۲	۰/۱۸۴	۰/۲۱۸	۰/۱۹۶	۰/۱۸۹	۰/۲۱۳	۰/۱۷۰	۰/۱۵۲	۰/۱۵۹	۰/۱۷۵	۰/۱۶۶	۰/۱۷۸
S4	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۲	۰/۱۸۸	۰/۲۰۲	۰/۱۹۷	۰/۲۰۶	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	۰/۱۹۵	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۱۹۵	۰/۲۰۴	۰/۱۸۹	۰/۲۰۷	۰/۲۱۸	۰/۱۶۹	۰/۲۱۶	۰/۱۷۳	۰/۱۵۰	۰/۱۵۷	۰/۱۷۷	۰/۱۶۴	۰/۱۸۰
S5	۰/۲۰۸	۰/۲۰۱	۰/۲۰۴	۰/۱۸۶	۰/۲۰۱	۰/۱۹۹	۰/۲۰۸	۰/۱۹۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۳	۰/۲۰۹	۰/۲۰۶	۰/۱۹۳	۰/۱۹۹	۰/۱۸۱	۰/۲۱۲	۰/۲۲۲	۰/۱۹۲	۰/۱۹۲	۰/۱۷۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۷	۰/۱۷۷	۰/۱۶۴	۰/۱۸۰
M1	۰/۲۱۲	۰/۲۱۰	۰/۲۰۳	۰/۱۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۹۳	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۳	۰/۱۸۹	۰/۲۰۶	۰/۲۱۲	۰/۱۸۵	۰/۲۰۹	۰/۱۷۹	۰/۲۱۶	۰/۲۱۶	۰/۱۸۱	۰/۲۰۸	۰/۱۵۵	۰/۱۵۳	۰/۱۵۱	۰/۱۸۳	۰/۱۷۳	۰/۱۸۶
M2	۰/۲۱۲	۰/۲۰۶	۰/۱۹۲	۰/۱۹۷	۰/۱۹۲	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۲۰۸	۰/۱۹۹	۰/۱۹۵	۰/۱۸۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۶	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۱۸۵	۰/۲۰۶	۰/۲۲۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۹	۰/۱۷۵	۰/۱۴۹	۰/۱۵۶	۰/۱۸۱	۰/۱۶۴	۰/۱۸۴
M3	۰/۲۱۶	۰/۱۹۹	۰/۲۰۲	۰/۱۸۴	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۲۰۸	۰/۱۹۸	۰/۲۰۲	۰/۱۹۳	۰/۱۹۳	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۱۹۴	۰/۲۰۰	۰/۱۹۱	۰/۲۰۴	۰/۲۱۳	۰/۱۸۵	۰/۲۰۶	۰/۱۷۵	۰/۱۶۰	۰/۱۴۳	۰/۱۸۵	۰/۱۵۱	۰/۱۸۷
M4	۰/۲۱۲	۰/۲۱۰	۰/۲۰۳	۰/۱۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۹۵	۰/۲۰۹	۰/۱۹۴	۰/۲۰۹	۰/۱۹۳	۰/۱۹۱	۰/۲۰۵	۰/۲۱۱	۰/۱۹۹	۰/۱۹۴	۰/۱۷۷	۰/۲۱۲	۰/۲۱۴	۰/۱۷۹	۰/۲۱۸	۰/۱۷۴	۰/۱۶۲	۰/۱۵۷	۰/۱۶۰	۰/۱۶۵	۰/۱۸۱
M5	۰/۲۰۵	۰/۲۰۳	۰/۱۹۷	۰/۱۹۴	۰/۲۰۱	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۳	۰/۱۹۳	۰/۲۰۸	۰/۲۱۴	۰/۱۸۷	۰/۱۹۷	۰/۱۷۹	۰/۲۱۵	۰/۲۱۶	۰/۱۸۱	۰/۲۰۸	۰/۱۷۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۲	۰/۱۸۲	۰/۱۴۹	۰/۱۸۶
M6	۰/۲۰۷	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۱۹۱	۰/۲۰۰	۰/۱۸۸	۰/۱۹۹	۰/۲۰۶	۰/۲۱۲	۰/۱۹۵	۰/۱۸۷	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۲	۰/۲۰۱	۰/۱۸۱	۰/۲۰۶	۰/۲۱۶	۰/۱۸۷	۰/۲۰۹	۰/۱۷۵	۰/۱۵۸	۰/۱۵۷	۰/۱۸۲	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

گام هفتم: محاسبهٔ شدت و جهت تأثیر ابعاد و معیارها: در ادامه، مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس ارتباط کامل ابعاد و معیارها، به‌صورت جداگانه و مطابق با روابط زیر محاسبه‌گردید: شاخص ri نشان‌دهندهٔ مجموع سطر i ام و cj بیانگر مجموع ستون jام با توجه به Tc^{ij} مربوط به بُعد موردنظر است. شاخص $ri+cj$ بیانگر میزان اهمیت(شدت) بعد iام می‌باشد .شاخص r_i-c_j نشان‌دهندهٔتأثیرگذاری و یا تأثیرپذیری معیار می‌باشد. در حالت کلی، چنان‌چه $ri-cj$ مثبت باشد(i=j)، جزء دسته‌معیارهای علّی یا تأثیرگذار است. چنان‌چه $ri-cj$ منفی باشد(i=j)، جزء گروه معیارهای تأثیرپذیر است. در واقع مجموع سطر i و مجموع ستون j می‌باشد .نمودار علّی بر پایه دو شاخص مذکور قابل ترسیم‌شد که به نقشه روابط شبکه معروف است؛ بنابراین می‌توان‌گفت که چگونه ابعاد و معیارها را بهبود داد. جدول۸ و ۹ به ترتیب بیانگر شدت و جهت تأثیر هر یک از ابعاد و معیارهای موردبررسی می‌باشند. شکل‌های ۵و ۶ نیز موقعیت ابعاد و معیارها را به‌صورت ترسیمی نشان‌می‌دهند.

جدول۸. شدت و جهت تأثیر هر یک از ابعاد موردبررسی

ابعاد	ri	cj	ri+cj	ri-cj
کالبدی- زیرساختی(P)	۲/۲۲۸	۱/۶۲۶	۳/۲۴۳	۰/۶۰۲
محیط‌زیستی(EN)	۲/۱۸۴	۱/۴۸۷	۳/۰۷۷	۰/۶۹۸
اقتصادی(E)	۲/۱۸۲	۱/۵۳۵	۳/۰۹۰	۰/۶۴۸
اجتماعی(S)	۲/۱۴۷	۱/۶۱۷	۳/۱۵۳	۰/۵۳۱
نهادی- مدیریتی(M)	۲/۱۱۳	۱/۶۰۱	۳/۱۶۷	۰/۵۱۲

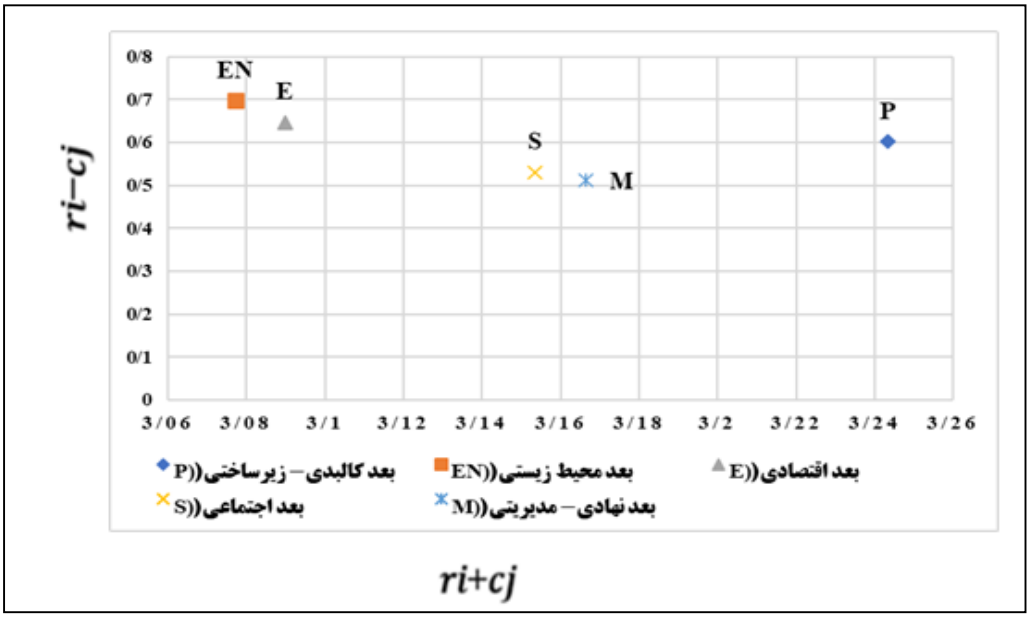
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

تحلیل ماتریس ارتباط کامل با تکیه بر شاخص‌های شدت (ri+cj) و جهت تأثیر (ri-cj) نشان می‌دهد که بعد کالبدی-زیرساختی (P) با دارا بودن بالاترین میزان شدت، به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده در استقرار شهر اسفنجی در اهواز شناخته‌می‌شود؛ از آن‌جایی که در مدل دیمتل، مقادیر حاصل از تعاملات سطر و ستون این بعد در ماتریس بالا همگی از وزن بالایی برخوردارند و با توجه به این‌که ابعاد «کالبدی-زیرساختی» و «نهادی-مدیریتی» معمولاً در این مدل به‌عنوان متغیرهای علّی (با خالص تأثیر مثبت) ظاهرمی‌شوند، می‌توان نتیجه‌گرفت که برای مدیریت سیلاب اهواز، اولویت با اصلاح بسترهای فیزیکی (مانند توسعه سیستم‌های زهکش سازگار و روسازی‌های نفوذپذیر) و هم‌زمان ایجاد الزامات قانونی و مدیریتی است؛ این امر مسیر را برای بهبود شاخص‌های متأثر (معمولاً اجتماعی و محیط‌زیستی) هموارمی‌سازد؛ زیرا تحلیل جهت تأثیر نشان‌می‌دهد که تغییر در ابعاد کالبدی و نهادی، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم، سایر ابعاد را به‌سمت وضعیت مطلوب سوق‌داده و نقشه روابط شبکه را برای پایداری شهر در برابر سیلاب ترسیم‌می‌کند.

جدول ۹. شدت و جهت هر یک از معیارهای موردبررسی

معیارها	ri	cj	ri+cj	ri-cj	معیارها	ri	cj	ri+cj	ri-cj	معیارها	ri	cj	ri+cj	ri-cj
E1	۱/۷۶۰	۱/۷۲۶	۳/۴۶۸	-۰/۰۳۴	**PI5**	۱/۶۱۲	۰/۸۸۶	۲/۴۹۹	۰/۷۲۶	HS2	۱/۶۵۸	۰/۷۹۱	۲/۱۹۷	۰/۸۶۸
E2	۱/۶۸۰	۱/۶۸۰	۳/۳۶۰	-۰/۰۰۱	**PI6**	۱/۵۲۱	۰/۹۳۰	۲/۴۵۲	۰/۵۹۱	HS3	۰/۱۹۹	۰/۹۰۴	۲/۳۱۱	۰/۵۰۲
E3	۱/۶۵۴	۱/۶۷۳	۳/۳۲۸	-۰/۰۱۹	**SH1**	۱/۵۵۷	۱/۲۱۹	۲/۷۷۶	۰/۳۳۷	HS4	۰/۱۹۴	۰/۸۸۳	۲/۴۵۱	۰/۶۸۶
E4	۱/۵۹۹	۱/۵۲۳	۳/۱۲۲	۰/۰۷۶	**SH2**	۱/۵۴۲	۱/۲۲۸	۲/۷۷۰	۰/۳۱۴	MI1	۰/۱۹۵	۰/۷۹۴	۲/۶۱۳	۱/۰۲۵
E5	۱/۵۸۸	۱/۶۷۹	۳/۲۶۷	۰/۰۹۱	SH3	۱/۳۹۱	۱/۱۶۸	۲/۵۵۹	۰/۲۲۴	MI2	۰/۱۸۹	۰/۷۸۸	۲/۵۱۰	۰/۹۳۵
PI1	۱/۴۶۸	۱/۱۳۳	۲/۶۰۱	-۰/۳۳۶	SH4	۱/۵۱۷	۱/۲۰۰	۲/۷۱۷	۰/۳۱۷	MI3	۰/۱۹۱	۰/۹۱۰	۲/۵۴۷	۰/۷۲۶
PI2	۱/۳۹۲	۱/۱۷۲	۲/۵۶۳	۰/۲۲۰	SH5	۱/۴۴۶	۰/۸۰۵	۲/۲۵۱	۰/۶۴۱	MI4	۰/۱۹۹	۱/۶۶۳	۳/۲۷۷	-۰/۰۴۹
PI3	۱/۴۳۱	۱/۱۰۲	۲/۵۳۳	۰/۳۲۹	SH6	۱/۶۰۷	۰/۹۱۲	۲/۵۱۹	۰/۵۳۴	MI5	۰/۱۹۸	۱/۸۶۸	۳/۸۳۵	۰/۰۹۹
PI4	۱/۵۶۵	۰/۹۵۷	۲/۵۲۲	۰/۶۰۸	HS1	۱/۴۱۰	۰/۹۳۲	۲/۳۴۲	۰/۴۷۸					

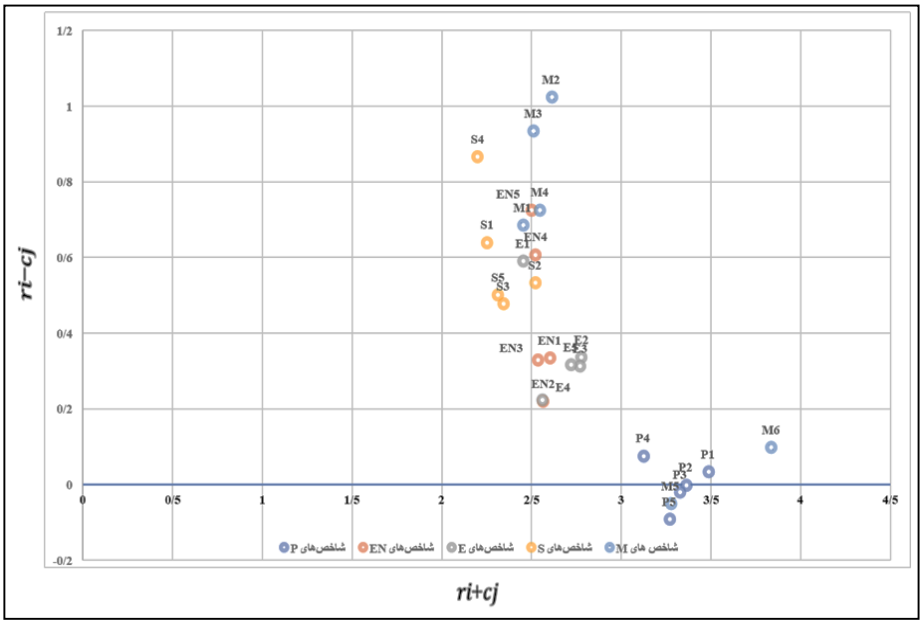
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)



شکل ۸. موقعیت هر یک از ابعاد مورد مطالعه براساس $ri+cj$ و $ri-cj$

با بررسی دقیق نمودار حاصل از مدل دیمتل (شکل ۸) که موقعیت ابعاد اصلی شهر اسفنجی را براساس شاخص‌های ri+cj (میزان اهمیت و تعامل) و ri-cj (خالص تأثیرگذاری) نشان‌می‌دهد، می‌توان چنین نتیجه‌گرفت کـه در میـان ابعاد پنج‌گانه، بُعد کالبدی-زیرساختی (P) با قرارگیری در سمت راست نمودار، بیشترین سـطح اهمیـت و تعامـل را در میان عوامل مؤثر بر مدیریت و کنترل سیلاب در شهر اهواز دارا است. قرارگیری ایـن شـاخص در ایـن موقعیـت، بیانگر نقش پیشران و محوری آن در شـکل‌دهی بـه سـاختار شـهر اسـفنجی اسـت؛ به‌گونـه‌ای کـه اقـداماتی نظیـر یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز و خاکستری، ایجاد حوضـچه‌های نگهداشـت و روسـازی‌های نفوذپـذیر، به‌صـورت مستقیم سیستم مدیریت سیلاب را تحت‌تأثیر قرارمی‌دهند. در مقابل، ابعاد محـیط‌زیسـتی (EN) و اقتصـادی (E) اگرچه از خالص تأثیرگذاری بالایی برخوردارند (قرارگیری در ناحیهٔ بالای نمودار)، اما از نظر میزان اهمیـت و تعامـل در سطحی پایین‌تر از بُعد کالبدی قراردارند که نشان‌می‌دهد این ابعاد به‌عنوان بسترهای حمایتی و مکمـل، بـیش از آن‌که محرک اولیه باشند، در تعامل با اقدامات کالبدی موجب پایداری سیستم می‌شوند؛ همچنین، ابعـاد اجتمـاعی

(S)و نهادی-مدیریتی (M) در موقعیت میان‌رده قرارگرفته‌اند که مؤید نقش آن‌ها به‌عنوان عوامل تعدیل‌گر و تسهیل‌کننده در پیاده‌سازی سایر مؤلفه‌هاست. در مجموع، نتایج این تحلیل نشان‌می‌دهد که برای موفقیت الگوی شهر اسفنجی در اهواز، اولویت اصلی برنامه‌ریزی‌ها باید بر تقویت زیرساخت‌های کالبدی و مهندسی متمرکز باشد؛ درحالی‌که سایر ابعاد مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی نقش پشتیبان را در تحقق‌پذیری و ارتقای کارایی این زیرساخت‌ها در مواجهه با سیلاب ایفا می‌کنند.



شکل ۹. موقعیت هر یک از معیارهای مورد مطالعه براساس $ri+cj$ و $ri-cj$

شکل(۹) نشان‌می‌دهد که در میان زیرمؤلفه‌ها، شاخص‌های نهادی-مدیریتی به‌ویژه مکانیزم‌های نظارتی و پایش هوشمند(M6) (کالبدی-زیرساختی) یکپارچگی زیرساخت‌ها(P1) و حوضچه‌های نگهداشت(P3) (بیشترین سطح اهمیت و تعامل را در میان عوامل مؤثر بر مدیریت سیلاب شهری در شهر اهواز دارا هستند. قرارگیری این شاخص‌ها در ناحیه سمت راست نمودار، بیانگر نقش محوری آن‌ها در شبکه روابط سیستم است؛ به‌گونه‌ای که وجود ساختارهای نظارتی دقیق و زیرساخت‌های مهندسی پیشرفته، به‌عنوان پیش‌نیاز، بر سایر مؤلفه‌ها تأثیرمی‌گذارند. در مقابل، زیرشاخص‌هایی نظیر مشارکت عمومی (S1) و مشوق‌های مالیاتی(E1) عمدتاً در ناحیه با تعامل کمتر (سمت چپ نمودار) قرارگرفته‌اند که نشان‌می‌دهد این ابعاد بیش از آن‌که محرک‌های اولیه باشند، تحت‌تأثیر بسترهای کالبدی و مدیریتی مهیا شده، تشدید یا هدایت می‌شوند؛ هرچند نقش آن‌ها در موفقیت بلندمدت شهر اسفنجی انکارناپذیر است. تحلیل دقیق زیرشاخص‌ها نشان می‌دهد که مواردی نظیر: نظام پایش هوشمند(M6) ، یکپارچگی زیرساخت‌های سبز و خاکستری (P1) و وجود سیستم‌های زهکشی سازگار (P2) از بالاترین سطح اهمیت برخوردارند و به‌عنوان کلیدی‌ترین اقدامات اولویت‌دار در شهر اهواز شناخته‌می‌شوند؛ درحالی‌که برخی زیرشاخص‌های اجتماعی و اقتصادی، بیشتر در زمره عوامل پشتیبان و تقویت‌کننده عمل‌می‌کنند. در مجموع، نتایج نشان‌می‌دهد که برای پیاده‌سازی موفق شهر اسفنجی در اهواز، تمرکز اصلی برنامه‌ریزی‌ها باید بر تقویت بسترهای

کالبدی و استقرار نظام‌های هوشمند مدیریتی (به‌عنوان متغیرهای علّی و تأثیرگذار) باشد؛ درحالی‌که تقویت مشارکت اجتماعی، آموزش و مشوق‌های اقتصادی، نقش مکمل و تسهیل‌گر را در پایداری این سیستم ایفا می‌کنند.

گام هشتم: تشکیل سوپرماتریس ناموزون: در اولین گام از ANP، ترانهاده ماتریس ارتباط کامل معیارها (T^a_C) محاسبه شده و Wحاصل شده‌است. برای تعیین اولویت های کلی و تبیین روابط بین آن‌ها، ساختار سوپرماتریس اولیه (ناموزون) تشکیل‌می شود. برمبنای نظریه ساعتی، پس از تشکیل سوپرماتریس اولیه، گام بعدی تعیین اولویت است. برای تعیین اولویت از مفهوم نرما سازی و میانگین موزون استفادهم شود. پس از نرمال‌کردن از مقادیر هر سطر میانگین موزون گرفته‌شد.

جدول ۱۰. سوپرماتریس اولیه

اولیه	P1	P2	P3	P4	P5	EN1	EN2	EN3	EN4	EN5	E1	E2	E3	E4	E5	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	۰/۱۸۹	۰/۲۱۲	۰/۲۱۶	۰/۲۱۳	۰/۲۱۴	۰/۲۰۶	۰/۲۱۲	۰/۲۰۷	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۲۰۸	۰/۲۱۳	۰/۲۰۷	۰/۲۰۶	۰/۲۱۱	۰/۲۰۶	۰/۲۱۱	۰/۲۰۴	۰/۲۰۶	۰/۲۰۸	۰/۲۱۲	۰/۲۱۲	۰/۲۱۶	۰/۲۱۲	۰/۲۰۵	۰/۲۰۷
P2	۰/۲۰۸	۰/۱۸۷	۰/۲۰۹	۰/۲۰۶	۰/۲۰۴	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۲۰۵	۰/۲۰۱	۰/۲۰۴	۰/۱۹۹	۰/۱۹۷	۰/۲۰۲	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۱۰	۰/۲۰۶	۰/۱۹۹	۰/۲۱۰	۰/۲۰۳	۰/۲۰۰
P3	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۱۸۳	۰/۲۰۳	۰/۲۰۷	۰/۲۰۳	۰/۲۰۳	۰/۱۹۹	۰/۲۰۵	۰/۲۰۱	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۲۰۳	۰/۱۹۷	۰/۲۰۱	۰/۲۰۴	۰/۲۰۳	۰/۲۰۹	۰/۲۰۲	۰/۲۰۴	۰/۲۰۳	۰/۱۹۳	۰/۲۰۲	۰/۲۰۳	۰/۱۹۷	۰/۲۰۱
P4	۰/۱۸۶	۰/۱۸۷	۰/۱۸۶	۰/۱۶۸	۰/۱۹۳	۰/۱۸۸	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۸۳	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۸۳	۰/۱۸۵	۰/۱۹۵	۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۱۸۰	۰/۱۸۲	۰/۱۸۸	۰/۱۸۶	۰/۱۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۸۴	۰/۱۷۹	۰/۱۹۴	۰/۱۹۱
P5	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۱۰	۰/۱۸۳	۰/۲۰۳	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۱۹۷	۰/۱۹۶	۰/۲۰۲	۰/۲۰۱	۰/۱۹۷	۰/۱۹۲	۰/۱۹۹	۰/۱۹۷	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰
EN1	۰/۱۸۹	۰/۱۹۴	۰/۱۹۴	۰/۱۹۹	۰/۱۹۷	۰/۱۷۸	۰/۲۰۱	۰/۲۱۰	۰/۲۰۴	۰/۱۹۹	۰/۱۹۸	۰/۱۹۷	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۳	۰/۱۹۷	۰/۱۹۵	۰/۱۹۷	۰/۱۹۷	۰/۱۹۹	۰/۱۹۳	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۱۹۵	۰/۱۹۴	۰/۱۸۸
EN2	۰/۲۰۹	۰/۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۲۰۲	۰/۲۰۵	۰/۲۱۱	۰/۱۸۶	۰/۲۱۰	۰/۲۰۶	۰/۲۰۹	۰/۲۰۴	۰/۲۰۵	۰/۲۰۳	۰/۲۰۲	۰/۲۰۷	۰/۲۰۱	۰/۲۰۶	۰/۲۰۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۲۱۰	۰/۱۹۹
EN3	۰/۱۹۹	۰/۱۹۴	۰/۱۹۵	۰/۱۸۹	۰/۱۹۱	۰/۱۹۹	۰/۱۹۸	۰/۱۷۶	۰/۲۰۱	۰/۱۹۹	۰/۱۹۲	۰/۱۹۳	۰/۱۹۶	۰/۱۹۵	۰/۱۹۶	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	۰/۱۹۴	۰/۱۹۵	۰/۱۹۲	۰/۱۹۴	۰/۲۰۸	۰/۱۹۸	۰/۱۹۴	۰/۱۹۴	۰/۲۰۶
EN4	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۳	۰/۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۲۰۴	۰/۲۱۰	۰/۱۹۰	۰/۲۱۵	۰/۲۱۱	۰/۲۰۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۷	۰/۲۰۰	۰/۲۰۶	۰/۲۰۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۲۱۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۲	۰/۲۰۹	۰/۲۱۰	۰/۲۱۲
EN5	۰/۱۹۵	۰/۱۹۲	۰/۱۹۰	۰/۱۹۶	۰/۱۹۷	۰/۲۰۰	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۱۹۹	۰/۱۷۸	۰/۱۹۵	۰/۱۹۸	۰/۱۹۵	۰/۲۰۱	۰/۱۹۶	۰/۲۰۶	۰/۱۹۸	۰/۱۹۴	۰/۱۹۵	۰/۲۰۰	۰/۱۹۳	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۰/۱۹۳	۰/۱۹۳	۰/۱۹۵
E1	۰/۱۹۳	۰/۱۹۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۱	۰/۱۹۲	۰/۱۹۳	۰/۱۹۱	۰/۱۹۸	۰/۲۰۰	۰/۱۷۳	۰/۱۹۹	۰/۱۹۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۵	۰/۱۸۹	۰/۱۹۳	۰/۱۹۲	۰/۱۹۹	۰/۱۹۳	۰/۱۸۹	۰/۱۸۷	۰/۱۹۳	۰/۱۹۱	۰/۱۹۳	۰/۱۸۷
E2	۰/۲۰۴	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۲۰۵	۰/۲۰۶	۰/۲۰۲	۰/۲۰۸	۰/۲۰۵	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۲۰۷	۰/۱۸۸	۰/۲۱۲	۰/۲۰۴	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۲۱۲	۰/۲۰۰	۰/۲۰۹	۰/۲۰۶	۰/۲۰۶	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۲۰۸	۰/۲۰۵
E3	۰/۲۰۲	۰/۲۱۳	۰/۲۱۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۱	۰/۲۰۳	۰/۲۰۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۲۱۰	۰/۲۱۷	۰/۲۰۷	۰/۱۸۸	۰/۲۱۴	۰/۲۱۰	۰/۲۰۷	۰/۲۱۲	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۲۱۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۵	۰/۲۱۱	۰/۲۱۴	۰/۲۰۵
E4	۰/۱۹۴	۰/۱۹۲	۰/۱۹۰	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸	۰/۱۹۷	۰/۱۹۳	۰/۱۹۸	۰/۱۹۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸	۰/۱۷۷	۰/۲۰۳	۰/۱۹۴	۰/۱۸۷	۰/۱۹۲	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۰/۱۸۵	۰/۲۰۰	۰/۱۹۴	۰/۱۹۹	۰/۱۸۷	۰/۲۰۲
E5	۰/۲۰۸	۰/۲۰۳	۰/۱۹۸	۰/۲۰۷	۰/۲۰۴	۰/۲۰۶	۰/۱۹۹	۰/۱۹۵	۰/۲۰۱	۰/۱۹۹	۰/۲۰۴	۰/۲۰۸	۰/۲۰۵	۰/۲۰۰	۰/۱۸۴	۰/۲۰۰	۰/۱۹۷	۰/۲۰۲	۰/۲۰۴	۰/۱۹۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۴	۰/۱۹۷	۰/۲۰۱
S1	۰/۱۷۹	۰/۱۸۰	۰/۱۷۳	۰/۱۸۴	۰/۱۸۳	۰/۱۸۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۵	۰/۱۷۳	۰/۱۸۷	۰/۱۸۴	۰/۱۸۰	۰/۱۸۵	۰/۱۷۶	۰/۱۸۲	۰/۱۶۵	۰/۱۹۲	۰/۱۸۴	۰/۱۸۹	۰/۱۸۱	۰/۱۷۹	۰/۱۸۵	۰/۱۹۱	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹	۰/۱۸۱
S2	۰/۲۰۹	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۲۰۰	۰/۲۰۸	۰/۲۰۱	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۲۱۳	۰/۲۰۷	۰/۱۹۹	۰/۲۱۰	۰/۲۰۴	۰/۲۱۰	۰/۲۰۳	۰/۲۱۱	۰/۱۸۶	۰/۲۱۸	۰/۲۰۷	۰/۲۱۲	۰/۲۱۶	۰/۲۰۶	۰/۲۰۴	۰/۲۱۲	۰/۲۱۵	۰/۲۰۶
S3	۰/۲۱۳	۰/۲۱۶	۰/۲۱۵	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۲۱۲	۰/۲۱۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۸	۰/۲۱۴	۰/۲۱۳	۰/۲۱۶	۰/۲۱۴	۰/۲۱۲	۰/۲۱۴	۰/۲۱۹	۰/۲۱۱	۰/۱۹۶	۰/۲۱۸	۰/۲۲۲	۰/۲۱۶	۰/۲۲۰	۰/۲۱۳	۰/۲۱۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱۶
S4	۰/۱۹۱	۰/۱۸۳	۰/۱۸۶	۰/۱۹۰	۰/۱۸۸	۰/۱۸۸	۰/۱۸۸	۰/۱۹۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۳	۰/۱۸۹	۰/۱۸۲	۰/۱۸۶	۰/۱۸۶	۰/۱۸۹	۰/۱۹۱	۰/۱۹۵	۰/۱۸۹	۰/۱۶۹	۰/۱۹۲	۰/۱۸۱	۰/۱۹۰	۰/۱۸۵	۰/۱۷۹	۰/۱۸۱	۰/۱۸۷
S5	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۲۱۴	۰/۲۱۵	۰/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۲	۰/۲۰۸	۰/۲۱۵	۰/۲۱۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱۵	۰/۲۱۲	۰/۲۱۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱۳	۰/۲۱۶	۰/۱۹۲	۰/۲۰۸	۰/۱۹۹	۰/۲۰۶	۰/۲۱۸	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹
M1	۰/۱۷۲	۰/۱۷۱	۰/۱۶۹	۰/۱۷۳	۰/۱۷۰	۰/۱۷۶	۰/۱۶۹	۰/۱۷۲	۰/۱۷۰	۰/۱۶۸	۰/۱۷۱	۰/۱۷۰	۰/۱۷۰	۰/۱۶۵	۰/۱۷۳	۰/۱۷۰	۰/۱۶۸	۰/۱۷۰	۰/۱۷۳	۰/۱۷۱	۰/۱۵۵	۰/۱۷۵	۰/۱۷۵	۰/۱۷۴	۰/۱۷۸	۰/۱۷۵
M2	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۴۵	۰/۱۵۷	۰/۱۴۸	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۵۵	۰/۱۵۰	۰/۱۵۸	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰	۰/۱۵۱	۰/۱۵۳	۰/۱۳۹	۰/۱۶۰	۰/۱۶۲	۰/۱۵۳	۰/۱۵۸
M3	۰/۱۵۵	۰/۱۵۴	۰/۱۵۸	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۵۸	۰/۱۵۰	۰/۱۵۷	۰/۱۴۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۵۶	۰/۱۵۷	۰/۱۵۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۹	۰/۱۵۷	۰/۱۵۷	۰/۱۵۱	۰/۱۵۶	۰/۱۴۳	۰/۱۵۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۷
M4	۰/۱۷۱	۰/۱۸۱	۰/۱۸۱	۰/۱۷۵	۰/۱۶۹	۰/۱۷۶	۰/۱۷۵	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۶	۰/۱۷۵	۰/۱۷۶	۰/۱۷۶	۰/۱۸۰	۰/۱۷۷	۰/۱۷۵	۰/۱۷۷	۰/۱۷۷	۰/۱۸۳	۰/۱۸۱	۰/۱۸۵	۰/۱۶۰	۰/۱۸۳	۰/۱۸۲
M5	۰/۱۶۸	۰/۱۵۵	۰/۱۵۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۶	۰/۱۷۱	۰/۱۶۵	۰/۱۶۷	۰/۱۶۳	۰/۱۶۵	۰/۱۶۳	۰/۱۶۴	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۲	۰/۱۶۲	۰/۱۶۶	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۷۳	۰/۱۶۴	۰/۱۵۱	۰/۱۶۵	۰/۱۴۹	۰/۱۶۴
M6	۰/۱۷۸	۰/۱۸۳	۰/۱۸۳	۰/۱۷۸	۰/۱۸۴	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	۰/۱۸۰	۰/۱۸۲	۰/۱۸۱	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	۰/۱۸۳	۰/۱۸۰	۰/۱۷۸	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۸۶	۰/۱۸۴	۰/۱۸۷	۰/۱۸۱	۰/۱۸۶	۰/۱۶۴

گام نهم: تشکیل سوپرماتریس موزون: به‌منظور تشکیل سوپرماتریس موزون، ماتریس ارتباط کامل نرمال-شده (T^a_D) ترانسپوز شده و در سوپرماتریس ناموزون ضرب شد.[1]

گام دهم: محدودکردن سوپرماتریس موزون: سوپرماتریس موزون را از طریق به‌توان‌رساندن به یک عدد بزرگ (Z) محدود می‌نماییم؛ تاجایی‌که سوپرماتریس همگرا شود و به ثبات رسد. خروجی این گام اوزان مؤثر دیماتل مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه می‌باشد. نتایج سوپرماتریس موزون همگرا شده براساس اوزان به‌دست‌آمده در جدول (۱۱ و ۱۲) ارائه شده‌است.

[1] به‌دلیل محدودیت فصلنامه، از آوردن جداول مربوط به گام نهم خودداری‌شد.

جدول ۱۱. وزن و رتبه‌بندی شاخص سوپرماتریس همگرا

شاخص	امتیاز	رتبه	شاخص	امتیاز	رتبه
کالبدی- زیرساختی(P)	۰/۲۰۶۸	۱	اجتماعی(S)	۰/۲۰۵۵	۳
محیط‌زیستی(EN)	۰/۱۸۹۰	۲	نهادی- مدیریتی(M)	۰/۲۰۳۶	۵
اقتصادی(E)	۰/۱۹۵۱	۴			

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

براساس نتایج جدول(۱۲)، بُعد «کالبدی-زیرساختی (P)» با کسب بالاترین امتیاز (۰/۲۰۶۸) در رتبهٔ نخست قرارگرفته و به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مؤلفه در پیاده‌سازی شهر اسفنجی و مدیریت سیلاب در شهر اهواز شناخته شده‌است؛ این جایگاه برتر، نشان‌دهندهٔ نقش تعیین‌کنندهٔ اقداماتی نظیر: یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز و خاکستری، سیستم‌های زهکشی نوین و روسازی‌های نفوذپذیر در کنترل رواناب‌های شهری و ارتقای تاب‌آوری کالبدی شهر است. پس از آن، بعد «محیط‌زیستی (EN)» با امتیاز (۰/۱۸۹۰) در رتبهٔ دوم قراردارد که بیانگر اهمیت حیاتی احیای حریم رودخانه‌ها، ایجاد باغ‌های بارانی و گسترش سطوح نفوذپذیر طبیعی در جذب و تصفیه سیلاب است. بُعد «اجتماعی (S)» با امتیاز (۰/۲۰۵۵) و رتبه سوم، نشان‌می‌دهد که مشارکت عمومی و عدالت در توزیع زیرساخت‌های آبی، از عوامل کلیدی در پایداری پروژه‌های شهر اسفنجی محسوب می‌شوند. در رتبهٔ چهارم، بُعد «اقتصادی (E)» با امتیاز (۰/۱۹۵۱) قرارگرفته که حاکی از ضرورت مشوق‌های مالی، جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و ارزش‌آفرینی سبز در پروژه‌های مدیریت سیلاب است. در نهایت، بُعد «نهادی-مدیریتی (M)» با کسب امتیاز (۰/۲۰۳۶) در رتبهٔ پنجم جای گرفته‌است که اگرچه در مقایسه با سایر ابعاد اولویت‌بندی متفاوتی دارد، اما همچنان به‌عنوان پیش‌شرط هماهنگی بین‌بخشی و اعمال ضوابط قانونی، نقش مهمی در اثربخشی کلیِ الگوی شهر اسفنجی ایفا می‌کند؛ این نتایج، تصویری جامع و اولویت‌بندی‌شده از مؤلفه‌های شهر اسفنجی در اهواز ارائه‌می‌دهد که می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و تدوین راهبردهای عملیاتی جهت کاهش خطرات سیلاب در این کلان‌شهر باشد.

جدول ۱۲. وزن و رتبه‌بندی زیرشاخص سوپرماتریس همگرا

کد	امتیاز	رتبه	کد	امتیاز	رتبه	کد	امتیاز	رتبه	کد	امتیاز	رتبه
P1	۰/۰۴۳۲۲	۷	EN3	۰/۰۳۶۹	۲۳	E5	۰/۰۳۹۲	۲۵	M2	۰/۰۳۱۴	۹
P2	۰/۰۴۱۹	۱۰	EN4	۰/۰۳۹۱	۱۶	S1	۰/۰۳۷۲	۲۴	M3	۰/۰۳۱۵	۱۴
P3	۰/۰۴۱۸	۸	EN5	۰/۰۳۷۰	۲۲	S2	۰/۰۴۲۷	۹	M4	۰/۰۳۶۰	۵
P4	۰/۰۳۸۴	۱۳	E1	۰/۰۳۷۶	۲۱	S3	۰/۰۴۴۰	۲	M5	۰/۰۳۳۳	۱۱
P5	۰/۰۴۱۵	۶	E2	۰/۰۴۰۰	۱۸	S4	۰/۰۳۸۳	۳	M6	۰/۰۳۶۷	۱۲
EN1	۰/۰۳۷۱	۱۷	E3	۰/۰۴۰۴	۱۹	S5	۰/۰۴۳۳	۴			
EN2	۰/۰۳۸۹	۱۵	E4	۰/۰۳۷۸	۲۰	M1	۰/۰۳۴۸	۱			

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

جدول(۱۲) نشان‌می‌دهد که مؤلفه‌های «کالبدی-زیرساختی (P)» با اختصاص بالاترین وزن‌ها به خود، به‌عنوان بحرانی‌ترین و تأثیرگذارترین پیش‌شرط‌های کنترل سیلاب در این کلان‌شهر شناسایی‌شده‌اند؛ به‌طوری‌که

شاخص‌هایی نظیر: «یکپارچگی زیرساخت‌های سبز، خاکستری و آبی (P1)» و «وجود سیستم‌های زهکشی سازگار با محیط‌زیست (P2)» با کسب بالاترین امتیازات، گلوگاه‌های اصلی تاب‌آوری شهری محسوب می‌شوند و بیانگر حساسیت شدید مدیریت سیلاب در اهواز به اصلاح ساختار مهندسی و بازآفرینی فضای کالبدی هستند. در رتبه‌های بعدی اهمیت، شاخص‌های «نهادی-مدیریتی (M)» به‌ویژه «مکانیزم‌های نظارتی و پایش هوشمند (M6)» و «محیط‌زیستی (EN)» نظیر: «احیای حریم رودخانه کارون (EN4)» وزن قابل‌توجهی را به خود اختصاص‌داده‌اند که نشان‌دهندهٔ لزوم هم‌راستایی ضوابط قانونی و مداخلات اکولوژیک در کنار زیرساخت‌های فیزیکی است؛ در مقابل، زیرشاخص‌های اجتماعی و اقتصادی نظیر: «مشارکت عمومی (S1)» یا «مشوق‌های مالیاتی (E1)»، علی‌رغم اهمیت ذاتی در پایداری پروژه‌ها، در مقایسه با فوریت‌های زیرساختی و نظارتی در سطوح بعدی اولویت‌بندی قرارگرفته‌اند. این امر ضرورت تمرکز راهبردی بر ارتقای ظرفیت‌های کالبدی و اصلاح نظام حکمرانی شهری را به‌عنوان پیش‌شرط اساسی برای پیاده‌سازی موفق الگوی شهر اسفنجی در اهواز برجسته‌می‌سازد.

نتیجه‌گیری

رویکرد شهر اسفنجی به‌عنوان یک مفهوم نو در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب شهری، برای مقابله با چالش‌های سیلاب شهری مطرح‌شد، بهره‌گیری از این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار نوین و تطبیقی، افق‌های جدیدی را پیش‌روی برنامه‌ریزان شهری اهواز قراردهد؛ چراکه تکیه بر زیرساخت‌های خاکستری و رویکردهای سنتی «تخلیهٔ سریع»، در برابر فشارهای ناشی از گسترش سطوح نفوذناپذیر و ناکارآمدی شبکه‌های موجود، کارایی لازم را نداشته و منجر به تکرار بحران‌های آب‌گرفتگی در این شهر شده‌است؛ بنابراین، گذار به‌سمت یک چارچوب یکپارچه و هوشمند که بر جذب، ذخیره و استفادهٔ مجدد از رواناب‌ها استوار باشد، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای توسعهٔ پایدار شهری در اهواز محسوب می‌شود؛ با این‌حال، پیاده‌سازی این مفهوم در اهواز نیازمند عبور از کپی‌برداری صرف از الگوهای جهانی و توجه دقیق به «شرایط بومی» است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف پاسخ به چالش‌های روزافزون مدیریت منابع آب و سیلاب‌های شهری در بستر شهرنشینی شتابان و تغییرات اقلیمی، به شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های شهر اسفنجی در شهر اهواز پرداخت. تحلیل یافته‌های پژوهش در شهر اهواز نشان‌می‌دهد که بُعد کالبدی-زیرساختی با کسب بالاترین میزان اهمیت، تعامل و وزن در مدل‌های دیمتل و سوپرماتریس همگرا، به‌عنوان محور کلیدی و پیشران در پیاده‌سازی الگوی شهر اسفنجی شناخته‌می‌شود؛ به‌طوری‌که شاخص‌های کلیدی این بُعد نظیر یکپارچگی زیرساخت‌های سبز و خاکستری و سیستم‌های زهکشی سازگار، مستقیماً تعیین‌کنندهٔ سطح تاب‌آوری شهر در برابر سیلاب هستند. در این ساختار، ابعاد محیط‌زیستی و نهادی-مدیریتی به‌ویژه مکانیزم‌های نظارتی و پایش هوشمند در جایگاه‌های بعدی به‌عنوان عوامل مکمل و علّی قراردارند که بستری برای اثربخشیِ مداخلات کالبدی فراهم‌می‌کنند؛ درحالی‌که ابعاد اقتصادی و اجتماعی عمدتاً در نقش بازوهای حمایتی و تسهیل‌گر عمل‌می‌نمایند. درمجموع، نتایج اولویت‌بندی نشان‌می‌دهد که برای موفقیت الگوی شهر اسفنجی در اهواز، تمرکز اصلی برنامه‌ریزی‌های راهبردی باید بر تقویت بسترهای فیزیکی و مهندسی (به‌عنوان گلوگاه‌های اصلی آسیب‌پذیری) و استقرار نظام‌های پایش هوشمند باشد؛ چرا که بهبود این متغیرهای علّی، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم سایر ابعاد را به‌سمت وضعیت مطلوب سوق‌می‌دهد. بدین‌ترتیب، سایر مؤلفه‌ها از جمله مشوق‌های مالیاتی و مشارکت‌های عمومی اگرچه در پایداری بلندمدت سیستم نقش حیاتی دارند، اما در

اولویت‌بندی اجرایی در زمره عوامل ثانویه قرارمی‌گیرند که تحقق آن‌ها در گرو اصلاح زیرساخت‌های کالبدی و هم‌راستایی ضوابط نهادی است. یافته‌های پژوهش حاضر در شهر اهواز، همسویی قابل‌توجهی با مطالعات پیشین (مانند پینتو و همکاران، ۲۰۲۶؛ یین و همکاران، ۲۰۲۱؛ و یمانی و همکاران، ۱۴۰۰) دارد که بر نقش محوری «زیرساخت‌های کالبدی و مهندسی» در کاهش رواناب و مدیریت ریسک سیلاب تأکید ورزیده‌اند؛ به‌طوری‌که در این پژوهش نیز بُعد «کالبدی-زیرساختی» به‌عنوان پیشران اصلی شناسایی شده‌است. همچنین، تأکید بر لزوم یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز و خاکستری در نتایج این تحقیق، با رویکردهای ارائه‌شده توسط چان و همکاران (۲۰۱۸) و یین و همکاران (۲۰۲۱) کاملاً هم‌راستا است. در بُعد مدیریتی، یافته‌های پژوهش درخصوص اهمیت «نظام پایش هوشمند و ساختارهای نظارتی»، پشتیبان نتایج نوری و رضایی (۱۴۰۳) مبنی بر نقش حیاتی ابعاد مدیریتی در پایداری منابع آب شهری است و با یافته‌های پینتو و همکاران (۲۰۲۶) در ضرورت ظرفیت‌سازی برای پایش سیستم‌ها مطابقت دارد. در مقابل، تفاوت‌های ظریفی در اولویت‌بندی مشاهده‌می‌شود که ناشی از شرایط خاص بوم‌شناختی و اقتصادی شهر اهواز است؛ به‌عنوان مثال، برخلاف برخی مطالعات مانند لی و همکاران (۲۰۲۲) یا نگوین و همکاران (۲۰۱۹) که ابعاد اجتماعی (مشارکت عمومی) و مالی (تأمین منابع) را به‌عنوان گلوگاه‌های اصلی و چالش‌های اولیهٔ اجرای شهر اسفنجی معرّفی‌کرده‌اند، نتایج پژوهش حاضر در اهواز نشان‌می‌دهد که این مؤلفه‌ها در رتبه‌های ثانویه قراردارند و تحقق آن‌ها متأثر از بهبود بسترهای کالبدی است. همچنین، درحالی‌که پژوهش‌هایی مانند هان و همکاران (۲۰۲۵) بر لزوم توجه به «خدمات فرهنگی اکوسیستم» تأکید دارند، مدل کنونی اهواز با توجه به ماهیت بحرانیِ سیلاب شهری، تمرکز راهبردی خود را بر کارکردهای فنی و ایمنیِ سیستم‌های زهکشی و نگهداشت معطوف کرده‌است که نشان‌دهندهٔ اولویت‌های متفاوت در برنامه‌ریزی شهری در شرایط مواجهه با مخاطرات محیطی حاد است. در راستای دستیابی به تاب‌آوری شهری و ارتقای توانمندی شهر اهواز در مواجهه با مخاطرات ناشی از سیلاب، راهکارهای اجرایی و کاربردی زیر مبتنی بر اولویت‌بندی مؤلفه‌های شهر اسفنجی ارائه‌می‌گردد:

۱. اولویت‌بندی اجرای پروژه‌های یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز و خاکستری برای افزایش ظرفیت دفع رواناب‌های شهری اهواز.

۲. استقرار نظام‌های پایش هوشمند و مکانیزم‌های نظارتی دقیق جهت مدیریت به‌هنگام و کارآمد عملکرد سیستم‌های شهر اسفنجی.

۳. احیای حریم رودخانه کارون و توسعهٔ تالاب‌های مصنوعی به‌عنوان راهکارهای کلیدی زیست‌محیطی برای جذب و تصفیهٔ سیلاب.

۴. اصلاح ضوابط شهرسازی و ایجاد بسترهای قانونی جهت حمایت از طرح‌های زیرساختی کالبدی و تسهیل سرمایه‌گذاری بخش خصوصی.

منابع

بهمنی، س و محمدی ده‌چشمه، م. (۱۴۰۲). مطالعهٔ جامعه‌شناختی چالش مدیریت آب‌های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (مطالعهٔ موردی: حادثهٔ سیلاب شهری و بالازدگی فاضلاب در شهرهای اهواز و کارون سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰). توسعهٔ اجتماعی, ۱۸(۱), ۲۲۷-۲۵۰. Doi: 10.22055/qjsd.2023.41990.2734 .

تنگستانی، ز؛ ایزدی، ح و آراسته، م. (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی با استفاده از روش سوارای فازی شهودی. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۶(۱)، ۱-۲۸.Doi: 10.22126/ges.2025.12324.2887

جانی‌پور، ب و امینی‌فرد، ز. (۱۴۰۲). ارتقای تاب‌آوری زیست‌محیطی شهری از طریق زیرساخت‌های سبز در شهرهای اسفنجی با رویکرد توسعهٔ کم‌اثر (LID). نخستین همایش ملی راهکارهای توسعهٔ فضای سبز در شهرهای حاشیهٔ کویر، قم. https://civilica.com/doc/2097443

جمشیدی، م. (۱۴۰۳). رویکرد شهر اسفنجی برای دستیابی به پایداری منابع آب در شهرهای کویری. نخستین کنفرانس ملی راهکارهای مهندسی و مدیریتی در سیستم‌های آبی، اصفهان، ایران. https://civilica.com/doc/2120454

رجبی‌زاده، ی؛ ایوب‌زاده، س و قمشی، م. (۱۳۹۸). بررسی سیل استان خوزستان طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ارائهٔ راه‌کارهای کنترل و مدیریت آن در آینده. مجله اکوهیدرولوژی, ۶(۴), ۱۰۶۹-۱۰۸۴ Doi: 10.22059/ije.2020.285854.1166 .

زیاری، ک و منصوری اطمینان، ا. (۱۴۰۲). واکاوی نقش شکل‌گیری شهرهای اسفنجی بر کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از سیلاب‌های شهری (موردپژوهی: شهر مشهد)، دومین رویداد بین‌المللی نمایشگاهی مدیریت بحران ایران قوی ،تهران. https://civilica.com/doc/1927642

صفری‌نامیوندی، مهدی. (۱۴۰۴). ارزیابی وضعیت سیل‌خیزی شهرهای استان خوزستان. جغرافیا و روابط انسانی, ۷(۴), ۲۹۹-۳۱۵ . Doi: 10.22034/gahr.2025.514247.2433

صمیمی، ک؛ پاکان، م و سینایی، ی. (۱۴۰۱). مروری بر اجزای شهرهای اسفنجی ساخته‌شده از بتن متخلخل در راستای توسعهٔ پایدار. مصالح و سازه‌های بتنی, ۷(۱), ۴۶-۵۹. Doi: 10.30478/jcsm.2022.344918.1270

طاهری، سیده م و مساعدی, ا. (۱۴۰۲). مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش‌های قانونی و عملی. فصلنامه آب و توسعهٔ پایدار، ۱۰(۳)، ۳۵-۵۰. Doi: 10.22067/jwsd. v10i3.2309-127

عشرتی، پ؛ مطلبی، م و مکبریان، ع. (۱۴۰۱). بررسی میزان توجه به رویکرد طراحی شهری حساس به آب در آموزش دانشگاهی معماری منظر و طراحی شهری. مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۱)، ۱۰۵-۱۱۸. Doi: 10.22093/wwj.2021.311538.3188

معصومی، م؛ حسینی، س؛ کریمی، غ؛ وائلی، ع و کلانی، ا. (۱۴۰۵). کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان‌شهر اهواز. سیاست‌گذاری پیشرفت شهری، ۳(۱)، ۱-۱۷.Doi: 10.22034/judpm.2025.542528.1059

نوری، م؛ رضایی، م و عسگری، ا. (۱۴۰۲). ارزیابی نقش شهر اسفنجی به‌عنوان شهری سبز-آبی در ارتقاء سطح خدمات اکوسیستم شهر شیراز، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۱(۴)، ۱۵۳-۱۳۳. DOI: 10.22059/jurbangeo.2024.369561.1892

نوری، م؛ رضایی، م و عسگری، ا. (۱۴۰۳). تحلیل کتاب‌سنجی و مرور ادبیات شهر اسفنجی به‌عنوان مفهومی نوظهور در مدیریت پایدار آب شهری. دانش شهرسازی، ۸(۲)، ۱۸-۴۰. Doi: 10.22124/upk.2024.26456.1916

یمانی، ع؛ آدرسی، م و کریمایی، م. (۱۴۰۰). توسعهٔ پایدار شهری با تکیه بر مفهوم شهر اسفنجی و مطالعهٔ تخصصی روسازی با بتن متخلخل در شهر اسفنجی، اولین کنفرانس بین‌المللی طراحی و مدیریت ساخت پایدار، جزیره کیش.https://civilica.com/doc/1430270

Reference

Bah, A., Hongbo, Z., Bah, A., Jufang, H., & Zhumei, L. (2023). Study of the applicability of Sponge City concepts for flood mitigation based on LID (low impact development) measures: A case study in Conakry City, Republic of Guinea. Water Science & Technology, 88(4), 901-921. https://doi.org/10.2166/wst.2023.251.

Cansian, A. R., Guzmán, D. A., Rosa, A., & de Toledo Machado, J. (2025). Nature-Based solutions for urban drainage: a systematic review of sizing and monitoring methods. Water, 17(17), 2524. https://doi.org/10.3390/w17172524.

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y. T., ... & Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. Land use policy, 76, 772-778. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005

Griffiths, J., Chan, F. K. S., Shao, M., Zhu, F., & Higgitt, D. L. (2020). Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 378(2168), 20190222. doi: 10.1098/rsta.2019.0222.

Han, N., Ibrahim, R. B., & Mat Noor, M. S. B. (2025). Assessing Cultural Ecosystem Services in Sponge City Infrastructure: A Systematic Review and Framework Proposal. Sustainability, 17(11), 5130. https://doi.org/10.3390/su17115130.

He, B. J., Zhu, J., Zhao, D. X., Gou, Z. H., Qi, J. D., & Wang, J. (2019). Co-benefits approach: Opportunities for implementing sponge city and urban heat island mitigation. Land use policy, 86, 147-157. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.003

Jiang, D., Hua, R., & Shao, J. (2022). Ecological evaluation of sponge city landscape design based on aquatic plants application. Land, 11(11), 2081. https://doi.org/10.3390/land11112081.

Li, W., Guo, J., Yuan, J., Liu, H. J., & Edwards, D. J. (2022). Exploring the key indicators of social impact assessment for sponge city PPPs: A sustainable development perspective. Buildings, 12(9), 1329. https://doi.org/10.3390/buildings12091329.

Liang, D., Wang, Q., Wei, N., Tang, C., Sun, X., & Yang, Y. (2020). Biological indicators of ecological quality in typical urban river-lake ecosystems: The planktonic rotifer community and its response to environmental factors. Ecological Indicators, 112, 106127..https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106127.

Lu, Y., Huang, M., Xiao, H., Lu, Z., Xie, M., & Chen, K. (2025). Keyword Analysis and Systematic Review of China's Sponge City Policy and Flood Management Research. Atmosphere, 16(9), 1090.

Luo, J., Hu, P., Sun, J., Yang, N., Liu, Q., Qin, N., Yuan,Y., & Xu, G. (2022). Research on Multiobjective Optimization of Sponge City Based on SWMM Model. Mobile Information Systems, 2022(1). https://doi.org/10.1155/2022/2677518

Ma, J., Liu, D., & Wang, Z. (2023). Sponge city construction and urban economic sustainable development: An ecological philosophical perspective. International journal of environmental research and public health, 20(3), 1694. https://doi.org/10.3390/ijerph20031694.

Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., ... & Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management-Sponge City. Science of the Total Environment, 652, 147-162. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168.

Pinto, H., Elston, J., Sunday, O. S., & Nogueira, C. (2026). From Concept to Practice: Evidence and Lessons from Sponge City Implementation in Shenzhen, China. Urban Science, 10(3), 135. https://doi.org/10.3390/urbansci10030135.

Song, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. Nature-Based Solutions, 2, 100010.https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010.

Tang, H., Ryan, R. L., Eisenman, T. S., & Yang, B. (2026). "Sponge City" Viability: Perspectives from Practitioners and Domain Experts in China. Land, 15(3), 492. https://doi.org/10.3390/land15030492.

Tansar, H., Li, F., & Duan, H. F. (2025). An efficient Gaussian process-based optimization for resilience improvement of urban drainage systems considering changing climate. Reliability Engineering & System Safety, 264, 111428. 10.1016/j.ress.2025.111428.

Thamakaison, S., & Positlimpakul, K. (2026). Systematic Review of Sponge City Indicators for Constructing a Thailand-Specific Sponginess Index. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1629, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.

Wan, P., & Zhang, H. (2026). Enhancing urban water ecological resilience through sponge city initiatives: Evidence from China. Urban Climate, 65, 102755. 10.1016/j.uclim.2025.102755.

Wang, C., Zevenbergen, C., & Corzo, G. (2025). A Comprehensive Conceptual Framework for the Sponge City Programme. In Geospatial Innovation: Igniting Smart Cities, Eco-Synergy, and Urban Resurgence: Geospatial Technologies for Smart Cities (pp. 247-271). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-96965-2_17.

Wang, J., Xue, F., Jing, R., Lu, Q., Huang, Y., Sun, X., & Zhu, W. (2021). Regenerating sponge city to sponge watershed through an innovative framework for urban water resilience. Sustainability, 13(10), 5358. https://doi.org/10.3390/su13105358.

Xu, C., Lin, W., Zhu, Y., Zhang, B., Wang, Z., & Jia, H. (2024). A macro-level life cycle environmental-economic impact and benefit assessment of sponge cities in China. Resources, Conservation and Recycling, 211, 107859. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107859.

Yang, J., & Zheng, B. (2020). Spatial structure planning and optimization strategy of sponge city in coastal area. Journal of Coastal Research, 103(SI), 561-565. https://doi.org/10. 2112/SI103-114.1

Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., ... & Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. Journal of Cleaner Production, 280, 124963. 10.1016/j.jclepro.2020.124963.

Yin, D., Xu, C., Jia, H., Yang, Y., Sun, C., Wang, Q., & Liu, S. (2022). Sponge city practices in China: From pilot exploration to systemic demonstration. Water, 14(10), 1531. https://doi.org/10.3390/w14101531.

Zheng, S., Tang, Y., Chan, F. K. S., Cao, L., & Song, R. (2022). The demographic implication for promoting sponge city initiatives in the Chinese megacities: a case of Wuhan. Water, 14(6), 883. https://doi.org/10.3390/w14060883.

Zhou, H., Li, H., Zhao, X., & Ding, Y. (2021). Emergy ecological model for sponge cities: A case study of China. Journal of Cleaner Production, 296, 126530. 10.1016/j.jclepro.2021.126530.