Geographical Urban Planning Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7779

Journal Homepage: www.jurbangeo.ut.ac.ir

Measuring the spatial interaction in infrastructurs of Ahvaz city

Mostafa Mohammadi Dehcheshme [1], Mohammad Ali Ferozi [2], Alireza Parvizian [3]

1. *Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran*
Email: m.mohammadi@scu.ac.ir
2. *Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran*
Email: ma.fir52@gmail.com
3. *Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran*
Email: parvizian68@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
3 February 2023
Received in revised form:
1 April 2023
Accepted:
6 May 2023

Keywords:
Modeling,
Geographic-spatial interaction,
Critical city infrastructure,
Ahvaz metropolis,
Resilience Approach

ABSTRACT

In recent years, infrastructure systems have been frequently disrupted due to the increase of natural or man-made disasters and due to internal and external dependencies between system components. Since such interdependencies may increase vulnerability and cause cascading failures, understanding interdependencies and assessing their impact is necessary to reduce adverse consequences and increase disaster resilience in the long term.The general aim of the current research is to measure the spatial interaction caused by the infrastructural contiguity pattern based on the factors of minimum distance and compatibility in the contiguity of infrastructures in the metropolis of Ahvaz.This research is based on the purpose of e-development and application, and in terms of descriptive-analytical methodology, it is based on studies and field-documentary surveys. For this purpose, after comparative studies, the target infrastructures of the research were identified and categorized in the form of 30 indicators. After that, in order to show the spatial distribution of the infrastructures, the spatial layers of the infrastructures were prepared. In this research, in order to determine the spatial interaction, the minimum distance matrix and the compatibility model and the integration of these two models have been used. The minimum spatial distance model was extracted based on real data through GIS software, and the compatibility model was obtained based on a survey of 20 experts in the field of urban infrastructure management. The results indicate that the spatial interaction of energy infrastructure, emergency and political-management services have more severe effects on the occurrence and exacerbation of urban accidents, and the network of communication roads, fire stations, power lines and sewage network have no effect on the occurrence or exacerbation of urban accidents. There are no losses and casualties, so some critical infrastructures do not have a negative impact on spatial interaction and only these impacts are considered positive in disaster management.

Cite this article: Mohammadi Dehcheshme, M., Ferozi, M. A., & Parvizian, A. (2023). Measuring the spatial interaction in infrastructurs of Ahvaz city. *Geographical Urban Planning Research Quarterly, 11* (1), 135-148.
http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.353610.1778

© The Author (s).
Publisher: University of Tehran Press
DOI: 10.22059/JURBANGEO.2023.353610.1778

Extended Abstrac

Introduction

So far, some researchers have assessed the vulnerability and resilience of critical infrastructure, however, few have considered the two-way interdependence of critical networks. These researches on resilience assessment generally assumed that critical networks can return to their original function, while limited recovery (against disasters) is more practical. Critical infrastructures are responsible for various human functions and activities and play an essential role in societies, on the other hand, infrastructure systems are not separate and depend on each other. Interdependencies between critical urban infrastructure systems significantly affect their reliability and performance and the resilience of modern societies. In 2017, the World Bank's City Resilience Program launched an ambitious resilience research and policy agenda. The main mission of this program is to "accelerate the change from mostly single-stream resilience operations at the city level to long-term, more comprehensive and multidisciplinary planning to build resilience". From the last decade of the 20th century, a large number of countries such as the United States of America and Australia began to examine the threats to their infrastructure, so that new risks in all sectors such as telecommunications, energy, health, management, transportation, etc. The critical infrastructure of the presidency in the United States was identified

In recent years, infrastructure systems have often been disrupted due to the increase of natural or human disasters and due to internal and external dependencies between system components. Since critical infrastructures are complex, interdependent and ubiquitous, they are sensitive to disturbances, even a minor disturbance can create a chain of events and reduce the performance of infrastructure systems, which has significant consequences. Also, nowadays, with the development of the city, many types of risk sources that are surrounded by densely populated residents are increasing rapidly. Like the gas pipeline, as one of the urban infrastructures, it is distributed in the area where the population and public facilities are concentrated, and when the gas pipeline leaks, it will cause a lot of damage, and worse, there may be a cascading effect of incidents from sources. The surrounding risk aggravates the damage and promotes the accident

The interconnectedness. between critical infrastructure systems shows that damage to a single system can be beyond its scope. A clear picture of multiple hazards and their changing effects on dependencies is provided by a case study in Karunga, Malawi, where acute shocks such as floods and earthquakes are associated with daily hazards such as poor sanitation, poor housing and poor quality drinking water. Simultaneous risks are combined in different ways. For this reason, dependencies can lead to cascading dysfunction and increase system vulnerability. The city of Ahvaz has a multi-role system and urban, extra-urban and even national functions. Also, due to its geostrategic location and sensitive social and cultural context, it faces accidents and challenges that can cause damage and disturbances in the vital infrastructure of the city of Ahvaz. do Among these accidents, in February 2016, the accumulation of dust particles caused by the dust storm on the distribution and super-distribution systems of incoming electricity in Ahvaz and the rain caused disruptions in power stations and substations. Ahvaz fell into blackout, and with the power cut, the water pumps in these areas also stopped working. A widespread power cut in Ahvaz led to a water cut, followed by a cut and disturbance in mobile phone communication networks. Twelve cities of Khuzestan province faced the challenge for a month. Due to the existence of a network of critical infrastructures and infrastructure connections resulting from them, the city of Ahvaz is exposed to risks and damages caused by the effects of infrastructure dependencies. Therefore, understanding the interdependencies and assessing their impact is necessary to reduce adverse consequences and increase disaster resilience in the long term.

Methodology

The approach that governs the present research is spatial and its purpose is to measure the spatial interaction resulting from the infrastructural contiguity pattern based on the factors of minimum distance and compatibility in the contiguity of infrastructures in Ahvaz metropolis. For this purpose, after comparative studies, the target infrastructures of the research were identified and categorized in the form of 30 indicators. After that, in order to show the spatial distribution of the

infrastructures, the spatial layers of the infrastructures were prepared. In this research, in order to determine the spatial interaction, the minimum distance matrix has been used. Also, after determining the spatial interaction, in order to estimate the intensity of the functional dependencies of the infrastructures, the method of mutual effects in the cross matrix was used based on a survey of 20 expert experts in the field of urban infrastructure management. The linear process of the current research is drawn in the form of five steps as follows. First step: Determining the spatial-infrastructural dependency rating Second step: normalization of the minimum spatial distance matrix The third step: determining the spatial-infrastructural interaction in the minimum distance index Fourth step: determining spatial interaction based on spatial compatibility The fifth step: integration of minimum distance spatial interaction matrix and consistency pattern The sixth step: Spatial model of interaction in Ahvaz city

Results and discussion

First step: Determining the spatial-infrastructural dependency rating. In order to analyze the spatial interaction of the vital infrastructures of Ahvaz city, in the first step, the spatial interaction score was estimated using a quantitative method in such a way that the vital infrastructures were compared two by two and the minimum distances of each infrastructure were extracted from other infrastructures, then using the relationship 1 point and rank of each infrastructure was determined. For example, the normalization score of the spatial interaction of the communication infrastructure network (road and rail) is 0.0001 and in terms of dependence it ranks 1st among the selected critical infrastructures, so the most spatial dependence of the critical infrastructures of Ahvaz city The average minimum distance is related to the infrastructure of the network of communication ways (road and rail). On the other hand, the lowest spatial dependence of the vital infrastructures of Ahvaz city according to the average minimum distance is related to the infrastructure of water and sewage pumping stations with a score of 0.1140 and a rank of 30.

Second step: Normalization of the matrix of the minimum spatial distance: In this step, the minimum distances (D) obtained between the vital infrastructures of Ahvaz city are descaled (B) through equation (2), then normalized through equation (3). The data has been created (N). The output of the model has shown that the highest average normal distance (S) for the vital infrastructures of Ahvaz city is related to the infrastructure of water and sewage pumping stations (E4) at the rate of 51.50, in other words, the said index is the largest spatial distance compared to other infrastructures. It has vital features in this research, so it creates the least effect and influence in the infrastructural neighborhood pattern. On the other hand, the lowest average normal distance of 0.24 is related to the infrastructure of the communication road network (C4), so the mentioned index plays the greatest effect in the infrastructural contiguity pattern.

The third step: Determining spatial-infrastructural interaction in the minimum distance index: In this step, the normal distance (N) obtained among the vital infrastructures of Ahvaz city is compared with their average normal distance (S) and through equation (5) their mutual effect is determined. We found that 0 indicates no effect, 1 indicates low effect, 2 indicates moderate effect, and 3 indicates high effect. Figure (3) shows the spatial interaction of the vital infrastructures of Ahvaz based on the minimum distance matrix. Based on the outputs of the implemented model for the minimum distance index, the spatial interaction of critical infrastructures was obtained, which out of a total of 900 modes of spatial interaction between critical infrastructures, 358 modes have no impact, 315 modes of low impact, 66 modes of medium impact and 161 modes of high impact is showing.

Fourth step: Determining the spatial interaction based on spatial compatibility: In this section, it is tried to extract and analyze the information and data needed to identify the incompatible situation between the vital infrastructures of the city of Ahvaz by reviewing the documents related to urban land use. It should be mentioned that because an accident such as a fire in any of the critical infrastructures can be considered a threat to other neighboring infrastructures, therefore a quantitative method was used to analyze the spatial interaction of the critical infrastructures of Ahvaz city. that the critical infrastructures were compared two by two and in case of spatial dependence (incompatibility or creating a spatial disturbance) the number one

was considered and in case of no spatial dependence (compatibility or indifference) the number was considered zero. The spatial interaction score of the infrastructures of military centers, gas and gas stations, oil facilities is 20 and in terms of dependence it ranks 1st among the selected critical infrastructures, therefore the most spatial dependence of the critical infrastructures of the city of Ahvaz according to the compatibility pattern related to the infrastructure military centers, petrol and gas stations, oil facilities. On the other hand, the lowest spatial dependence of the vital infrastructures of Ahvaz city according to the adaptation pattern related to fire infrastructure, network of communication routes (roads and railways), power lines, sewage network with a score of 0.

Fifth step: Integration of spatial interaction matrix of minimum distance and compatibility model: In this step, the points obtained in the stages of minimum distance and compatibility model are integrated in such a way that the critical infrastructures get the points obtained in the minimum distance stage, in the case of compatibility. being based on the consistency pattern, and in case of inconsistency, the total points earned in both stages will be considered.

Conclusion

In this research, the most important influencing factors on the spatial interaction of Ahvaz city's critical infrastructure components were identified in 30 variables, which according to the minimum spatial distance matrix is the most influential indicator related to the infrastructure of telephone centers and the most influential indicator related to the infrastructure of power lines. Also, according to the pattern of adaptation, the most effective and effective location of the vital infrastructures of Ahvaz city is related to the infrastructure of military centers, gas and gas stations, oil facilities, and the least effective and effective is related to the fire infrastructure, the network of communication routes (roads and railways). , power lines, sewage network. The results of the integration of the minimum spatial distance matrix and consistency pattern show that among the vital infrastructures of Ahvaz city, the most influential index is related to the gas station variable and the most effective index is related to the gasoline and gas pump variable.

In this research, we came to the conclusion that the spatial interaction of energy infrastructure, emergency and political-management services have more severe effects on the occurrence and escalation of urban accidents, and the network of communication roads, fire stations, power lines and sewage network have no effect on the occurrence of accidents. They do not have urban or aggravating damages and casualties, so some critical infrastructures do not have a negative impact on spatial interaction and only these impacts are considered positive in disaster management. After knowing the extent of spatial dependence of critical infrastructures, the next step in addressing the issue of infrastructure dependencies in urban planning is to provide solutions to increase resilience. In general, the following solutions are suggested: increasing the security fortifications of sensitive infrastructure, especially the energy infrastructure; Relocating incompatible critical infrastructure, especially the infrastructure of gas stations and gasoline and gas pumps; Considering support networks to increase the resilience of political-management infrastructures against disasters; Using the principle of retrofitting and adaptation in improving the quantity and quality of emergency service infrastructure; Renovation and restoration of infrastructure related to the water network; Reforming urban management and using passive defense principles in planning; Adjusting the spatial distribution of population and performance in the central part of Ahvaz city; Considering special measures to deal with the crisis and in order to reduce the risk and vulnerability of Region 1 and the old Ahvaz area.

Funding

There is no funding support.

Authrr'' Cnntribution

All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری
شاپا الکترونیکی: 2423-7779
Journal Homepage: www.jurbangeo.ut.ac.ir

سنجش اندرکنش مکانی ناشی از الگوی هم‌جواری زیرساختی در شهر اهواز

مصطفی محمدی ده چشمه [۱]، محمدعلی فیروزی [۲]، علیرضا پرویزیان [۳]

۱ – نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم‌انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.mohammadi@scu.ac.ir
۲– گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم‌انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ma.fir52@gmail.com
۳– گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم‌انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: parvizian68@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۱۴
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۱/۱۲
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۲/۱۶

واژگان کلیدی:
مدل‌سازی،
اندرکنش جغرافیایی – مکانی،
زیرساخت‌های حیاتی شهر،
کلان‌شهر اهواز،
رویکرد تاب‌آوری

چکیده

در سال‌های اخیر، سیستم‌های زیرساختی به دلیل افزایش بلایای طبیعی یا انسان‌ساز و به دلیل وابستگی‌های داخلی و خارجی بین اجزای سیستم، غالباً دچار اختلال شده‌اند. ازآنجاکه چنین وابستگی‌های متقابل ممکن است آسیب‌پذیری بیشتری ایجاد کند و باعث خرابی‌های آبشاری شود، درک وابستگی‌های متقابل و ارزیابی تأثیر آن‌ها برای کاهش پیامدهای نامطلوب و افزایش تاب‌آوری در برابر بلایا در بلندمدت ضروری است. هدف کلی پژوهش حاضر سنجش اندرکنش مکانی ناشی از الگوی هم‌جواری زیرساخت‌های حیاتی کلان‌شهر اهواز است. این پژوهش به لحاظ هدف توسعه‌ای – کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی توصیفی – تحلیلی مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های میدانی – اسنادی است. بدین منظور پس از مطالعات تطبیقی، زیرساخت‌های هدف پژوهش در قالب ۳۰ شاخص، شناسایی و دسته‌بندی شدند. پس از آن به‌منظور نمایش پراکنش مکانی زیرساخت‌ها، لایه‌های مکانی زیرساخت‌ها تهیه شد. در این پژوهش، به‌منظور تعیین اندرکنش مکانی، از ماتریس حداقل فاصله و مدل سازگاری و ادغام این دو مدل استفاده شده است. مدل حداقل فاصله مکانی بر اساس داده‌های واقعی از طریق نرم‌افزار GIS استخراج شده و مدل سازگاری بر اساس نظرسنجی از ۲۰ کارشناس خبره در حوزه مدیریت زیرساخت‌های شهری به‌دست‌آمده است. نتایج حاکی از آن است که اندرکنش مکانی زیرساخت‌های انرژی، خدمات اضطراری و سیاسی – مدیریتی در بروز و تشدید سوانح شهری اثرات شدیدتری دارند و شبکه راه‌های ارتباطی، مراکز آتش‌نشانی، خطوط برق و شبکه فاضلاب هیچ‌گونه تأثیری منفی بر اندرکنش مکانی ندارند و صرفاً این تأثیرات در مدیریت سوانح مثبت تلقی می‌شوند.

استناد: محمدی ده چشمه، مصطفی؛ فیروزی، محمدعلی و پرویزیان، علیرضا. (۱۴۰۲). سنجش اندرکنش مکانی ناشی از الگوی هم‌جواری زیرساختی در شهر اهواز. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۱ (۱)، ۱۴۸-۱۳۵.
http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.353610.1778

© نویسندگان
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
DOI: 10.22059/JURBANGEO.2023.353610.1778

مقدمه

تاکنون برخی از محققان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی را ارزیابی کردند، بااین‌حال تعداد کمی وابستگی متقابل دوطرفه شبکه‌های حیاتی را موردتوجه قرار داده‌اند (Xiao et al, 2022: 108). زیرساخت‌های حیاتی کارکردهای مختلف انسانی را بر عهده دارد و نقش اساسی در جوامع ایفا می‌کنند این سیستم‌های مجزا نیستند و به یکدیگر وابسته‌اند (Yang et al, 2022: 606). وابستگی‌های متقابل بین سیستم زیرساخت‌های حیاتی شهری[1] به طور قابل‌توجهی بر قابلیت اطمینان و عملکرد آن‌ها و تاب‌آوری جوامع مدرن تأثیر می‌گذارد (Magoua et al, 2022: 102). در سال ۲۰۱۷، برنامه تاب‌آوری شهر بانک جهانی، برنامه تحقیقاتی و سیاستی بلندپروازانه تاب‌آوری را تنظیم کرد. مأموریت اصلی آن «تسریع تغییر از عملیات تاب‌آوری عمدتاً تک جریانی در سطح شهر به برنامه‌ریزی طولانی‌مدت، جامع‌تر و چندرشته‌ای برای ایجاد تاب‌آوری» است (Philip et al, 2021: 1). از دهه آخر قرن بیستم، تعداد زیادی از کشورها مثل ایالات متحده آمریکا و استرالیا شروع به بررسی تهدیدات زیرساخت‌های خود کردند، به‌نحوی‌که خطرات جدید در کلیه بخش‌هایی مانند ارتباطات راه دور، انرژی، مدیریت، حمل‌ونقل و... توسط کمیسیون حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی ریاست‌جمهوری در ایالات متحده شناسایی شد (Enrico et al, 2011: 140).

در سال‌های اخیر، سیستم‌های زیرساختی به دلیل افزایش بلایای طبیعی یا انسان‌ساز و به دلیل وابستگی‌های داخلی و خارجی بین اجزای سیستم، غالباً دچار اختلال شده‌اند (Yang et al, 2022: 606). زیرساخت‌های حیاتی ازآنجاکه پیچیده، وابسته به یکدیگر و همه‌جا هستند، نسبت به اختلالات حساس‌اند، حتی یک اختلال جزئی می‌تواند زنجیره‌ای از رویدادها را ایجاد کند و باعث کاهش عملکرد سیستم‌های زیرساختی شود که عواقب قابل‌توجهی را به دنبال دارد (Chen et al, 2019: 1). همچنین امروزه با توسعه شهر بسیاری از انواع منابع خطر که توسط ساکنان پرجمعیت احاطه‌شده‌اند، به‌سرعت افزایش می‌یابد. مانند خط لوله گاز به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های شهری، در منطقه‌ای که جمعیت و وسایل عمومی در آن متمرکز است، توزیع می‌شود و هنگامی‌که خط لوله گاز نشت می‌کند خسارات زیادی را به همراه خواهد داشت و بدتر از آن، ممکن است اثر آبشاری حوادث از منابع خطر احاطه‌شده خسارت را تشدید کند (Wang et al, 2011: 1721). ارتباط متقابل بین سیستم‌های زیرساخت حیاتی نشان می‌دهد که آسیب به یک سیستم واحد می‌تواند فراتر از محدوده آن باشد (Yang et al, 2022: 606). تصویر واضحی از خطرات متعدد و تغییرات آن‌ها در تأثیرات وابستگی‌ها توسط یک مطالعه موردی در کارونگا[2]، مالاوی نشان می‌دهد جایی که شوک‌های حاد مانند سیل و زلزله با خطرات روزانه مانند بهداشت ضعیف، مسکن ضعیف و آب آشامیدنی باکیفیت پایین همراه هستند، این خطرات هم‌زمان به طرق مختلف ترکیب می‌شوند (Patel et al, 2020: 593). به همین دلیل، وابستگی‌ها می‌تواند منجر به اختلال عملکرد آبشاری شود و آسیب‌پذیری سیستم را افزایش دهد (Yang et al, 2022: 606).

شهر اهواز دارای نظام چند نقشی و عملکرد شهری، فراشهری و حتی ملی است و با سوانح و چالش‌هایی روبه‌رو است که می‌تواند خسارات و اختلالاتی را در زیرساخت حیاتی شهر اهواز ایجاد کنند. ازجمله این سوانح در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ تجمع ذرات گردوغبار ناشی از طوفان ریزگردها بر سیستم‌های توزیع و فوق توزیع برق ورودی اهواز و بارش نم‌نم باران، موجب اختلال در ایستگاه‌ها و پست‌های برق شد، با قطع برق، پمپ‌های آب نیز از کار افتادند و به دنبال آن اهواز با ایجاد اختلال در شبکه‌های ارتباطی تلفن همراه شد (Mohammadi Dehcheshmeh & Ghaedi, 2020: 7). به دلیل وجود شبکه‌ای

1. CIS
2. Karonga

از زیرساخت‌های حیاتی و پیوستگی زیرساختی ناشی از آن‌ها، شهر اهواز در معرض خطرات و آسیب‌های ناشی از تأثیرات وابستگی‌های زیرساختی است. بنابراین، درک وابستگی‌های متقابل و ارزیابی تأثیر آن‌ها برای کاهش پیامدهای نامطلوب و افزایش تاب‌آوری در برابر بلایا در بلندمدت ضروری است.

جدول ۱. شمای کلی پیشینه پژوهش در جهان، ایران

پژوهشگر	توضیحات پژوهش
زارعی، ۱۳۹۵	باهدف بررسی اندرکنش آب و زیرساخت‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سیلاب‌های ساحلی، مقاومت زیرساخت برای مقابله با سیل هم ازنظر فیزیکی و هم ازنظر استانداردهای کیفی را بررسی و به این نتیجه رسیدند که شکست آماری تصفیه‌خانه‌هایی که غلظت‌های خروجی در طول مدت‌زمان سیل به‌عنوان بار تلقی می‌شوند و است عملکردشان را در این مدت کاهش یا مختل کند.
محمدی‌ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۸	باهدف تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل کلان‌شهر اهواز، به این نتیجه رسیدند که پیشران تبیین‌کنندهٔ درجهٔ محصوریت شبکه بیشترین حساسیت را برای تبیین تاب‌آوری در حمل‌ونقل شهری اهواز دارد.
شارما و گاردونی[1]، ۲۰۲۲	باهدف مدل‌سازی ریاضی زیرساخت‌های وابسته، با استفاده از فرمول ریاضی دقیق رویکردی برای تحلیل سیستم شبکه تعمیم‌یافته ارائه کردند و در دنیای واقعی، عملکرد زیرساخت‌های وابسته به هم را برای شهرستان شلبی، ایالت تنسی آمریکا در یک سناریوی پس از زلزله مدل‌سازی می‌کند تا سنجش‌پذیری را نشان دهد.
شیائو، یوانهائو[2] و همکاران، ۲۰۲۲	باهدف ارزیابی تاب‌آوری لرزه‌ای زیرساخت‌های شهری حیاتی وابسته به هم عملکرد خطوط حیاتی وابسته به شبکه گاز بلژیک را بررسی و به این نتیجه رسیدند که برای هر شبکه، منابع بازیابی و بودجه تأثیرات مختلفی بر تاب‌آوری دارد.
سرکیسیان، ریتا[3] و همکاران، ۲۰۲۲	باهدف بررسی اهمیت وابستگی‌های متقابل زیرساخت‌های حیاتی در طول بازیابی بر بازسازی شبکه‌های حیاتی جزیره سنت مارتین تأکید کردند. نتایج نشان می‌دهد که به‌منظور بهینه‌سازی بازیابی زیرساخت‌های حیاتی، رویکردهای غیرمتمرکز مبتنی بر بحران باید با یک استراتژی بازسازی هماهنگ تکمیل شود.
یانگ ژیو[4] و همکاران، ۲۰۲۲	باهدف سنجش تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی – زیرساختی: تحلیل وابستگی‌های متقابل کارکردی در کلان‌شهر نانت پیشنهاد می‌دهند و به این نتیجه رسیدند که کنشگران و کارکرد زیرسیستم‌ها در مناطق شهری برای انواع خطرات، حالت‌های خرابی و بهبودی متفاوتی خواهد داشت.

مبانی نظری

مدل‌های اندرکنش زیرساختی در شهر

زیرساخت‌ها، کاربری‌هایی هستند که هرگونه اختلال و یا عدم کارایی در آن‌ها، تأثیر تضعیف‌کننده‌ای بر جامعه گذاشته و خسارت مالی و تلفات انسانی به وجود می‌آورد (علیزاده، ۱۳۹۵: ۶۸). زیرساخت‌های شهری مفهومی چندوجهی است که فراتر از مجموعه‌ای از امکانات مهندسی شده، تأسیسات و سیستم‌ها است. به همان اندازه مکانی برای حکمرانی محلی و جهانی، مسائل درهم‌تنیده رشد اقتصادی، تغییرات آب‌وهوا و زباله‌های شهری است (Ferrer et al, 2016: 1). اگرچه زیرساخت‌های حیاتی به‌طورکلی واژه‌ای جدیدی در نظر گرفته می‌شود که به تحولات ایالات متحده در اواسط دهه ۱۹۹۰ بازمی‌گردد، از ۱۱ سپتامبر تاکنون اسناد بی‌شماری توسط سازمان‌های بین‌المللی، دولت‌ها و مؤسسات تحقیقاتی در مورد آسیب‌پذیری‌ها و حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی تهیه شده است (Aradau et al, 2010: 492). اختلال یا تخریب

1. Sharma & Gardoni
2. Xiao & Yuanhao
3. Sarkissian
4. Yang

زیرساخت حیاتی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر عملکردها داشته باشد (Singh et al, 2014: 72). یک زیرساخت در صورتی حیاتی تعریف می‌شود که ناتوانی یا تخریب آن تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت، ایمنی، امنیت، اقتصاد و رفاه اجتماعی یک دولت داشته باشد (Cantelmi et al, 2021: 341). در دستورالعمل اجرایی زیرساخت‌ها حیاتی در کشور آمریکا و اتحادیه اروپا از عملکردهایی چون مخابرات، سیستم‌های تأمین برق و آب، بانک‌داری، حمل‌ونقل، خدمات اضطراری به‌عنوان شبکه‌های زیرساخت حیاتی نام‌برده‌شده است (پرویزیان، ۱۳۹۵: ۷۶). با افزایش وابستگی متقابل زیرساخت‌های حیاتی، آسیب‌های ناشی از سوانح طبیعی و انسانی شهر، عملکرد کلی زیرساخت را به‌سرعت کاهش می‌دهد (Xiao et al, 2022: 108). سیستم‌های زیرساخت حیاتی در شهرها، عموماً به یکدیگر وابسته هستند و در پی یک فاجعه، چنین وابستگی‌های متقابل غالباً آسیب‌پذیری بیشتری ایجاد کند (Patel et al, 2020: 593). و باعث خرابی‌های آبشاری (دومینویی) می‌شود (Sun et al, 2022: 21). ارتباط متقابل بین سیستم‌های زیرساخت حیاتی نشان می‌دهد که آسیب به یک سیستم واحد می‌تواند فراتر از محدوده آن باشد (Yang et al, 2022: 606). اندرکنش به معنی تأثیرگذاشتن بر یکدیگر و با یکدیگر واکنش‌دادن است (محمدی‌ده‌چشمه و همکاران، ۱۴۰۱: ۵۲۶). تصویری از خطرات و تأثیرات وابستگی‌ها نشان می‌دهد جایی که شوک‌های حاد مانند سیل و زلزله با خطرات روزانه مانند بهداشت ضعیف، مسکن ضعیف و آب آشامیدنی باکیفیت پایین همراه هستند، این خطرات هم زمان به طرق مختلف ترکیب می‌شوند (Patel et al, 2020: 593). وابستگی متقابل اثر بازگشتی بر سیستم دارد و نشان‌دهنده تعاملات پیچیده‌ای است که می‌تواند بین سیستم‌ها رخ دهد (McDaniels et al, 2007: 176). یک اندرکنش متقابل جغرافیایی زمانی اتفاق می‌افتد که عناصر زیرساخت‌های متعدد در مجاورت مکانی نزدیک باشند. باتوجه‌به این نزدیکی، رویدادهایی مانند انفجار یا آتش‌سوزی می‌توانند اختلالات یا تغییرات مرتبطی را در این زیرساخت‌های جغرافیایی وابسته به هم ایجاد کنند. برای مثال شکستن یک انشعاب آب اصلی به جاده مجاور آن آسیب می‌رساند، این وضعیت یک وابستگی متقابل جغرافیایی بین سیستم‌های آب و حمل‌ونقل را تشکیل می‌دهد (Robert & Morabito, 2010: 19). اگرچه چندین رویکرد برای مدل‌سازی زیرساخت‌های حیاتی شهری وابسته به هم و مطالعه رفتار آنها وجود دارد، این مدل‌ها مانند زنجیره‌های مارکوف، شبکه‌های پتری، مدل‌سازی هولوگرافی سلسله‌مراتبی (HHM) اغلب در ترکیب دانش حوزه زیرساخت‌های حیاتی، گرفتن ناهمگونی‌های سیستمی در بین آنها و مدل‌سازی دقیق وابستگی‌های متقابلشان شکست می‌خورند. در نتیجه، مدل‌های موجود توانایی محدودی برای شبیه‌سازی زیرساخت‌های حیاتی شهری وابسته به هم با جزئیات و دقت کافی دارند (Magoua et al, 2022: 102). فرایند مدل‌سازی زیرساخت‌های وابسته به هم با سه چالش: شناسایی و درک انواع مختلف تعاملات درون و در سراسر زیرساخت، مدل‌سازی دقیق عملکرد متغیر زمان هر زیرساخت به طور دقیق و مدل‌سازی وابستگی‌های متقابل بین زیرساخت‌ها مواجه می‌شود (Sharma & Gardoni, 2022: 1).

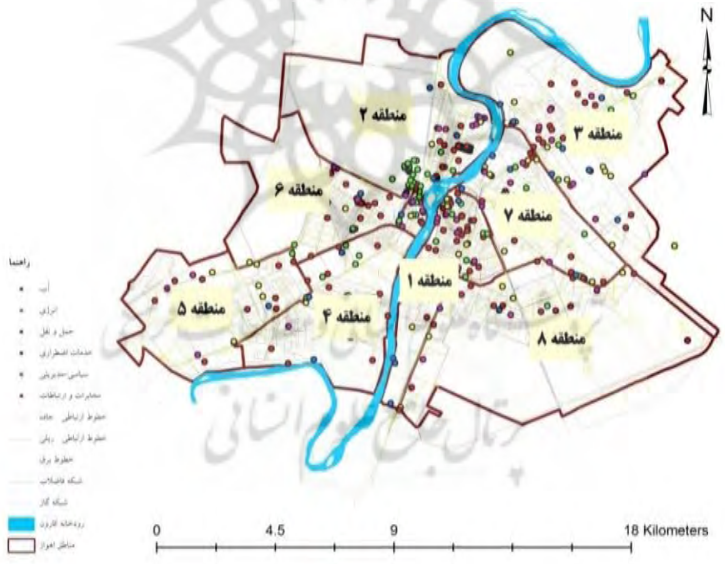
الزامات اصول هم‌جواری زیرساختی

کاربری‌هایی که در حوزه نفوذ یکدیگر قرار می‌گیرند، باید ازنظر سنخیت و همخوانی عملکردی با یکدیگر منطبق بوده و الزامات دفاع شهری شامل فنی، شهرسازی، بهداشتی و ایمنی در آن دیده‌شده باشد. اهمیت هم‌جواری کاربری‌ها به میزان تلفات و خسارات ناشی از بروز حوادث برمی‌گردد، عدم رعایت اصول سازگاری و هم‌جواری بین کاربری‌ها در حین بروز بحران، عاملی در جهت افزایش میزان خسارات و تلفات، هم‌افزایی ریسک و افزایش دامنه بحران و نهایتاً پیدایش بحران‌های ثانویه مانند آتش‌سوزی، انفجار و انتشار گازهای آلاینده و سمی می شود (محمدی‌ده‌چشمه، ۱۳۹۲: ۲۹۶). هم‌جواری

کاربری‌های حساس و حیاتی در هر حالتی عموماً خطرزا و در رده هم‌جواری کاملاً ناسازگار محسوب می‌شود (پرویزیان، ۱۳۹۵: ۸۳). از طرفی هم‌جواری دو کاربری کاملاً ناسازگار امکان تشدید پیامدهای نامطلوب بحران و گسترش دامنه خطرپذیری را افزایش می‌دهد (محمدی‌ده‌چشمه، ۱۳۹۲: ۲۹۶). راهبرد مقابله با آسیب‌پذیری کاربری‌ها، اصل هم‌جواری کاربری‌هاست، معیارهای مکانی در کاربری زمین که با آن مکان بهینه یک کاربری در ارتباط با سایر کاربری‌های شهری و پیراشهری سنجش می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۵: ۶۵).

روش پژوهش

رویکرد حاکم بر پژوهش حاضر، مکانی است و هدف آن سنجش اندرکنش مکانی ناشی از الگوی هم‌جواری زیرساختی بر اساس فاکتورهای حداقل فاصله و سازگاری در هم‌جواری زیرساخت‌ها در کلان‌شهر اهواز است. بدین منظور پس از مطالعات تطبیقی، زیرساخت‌های هدف پژوهش در قالب ۳۰ شاخص، شناسایی و دسته‌بندی شدند. پس از آن به‌منظور نمایش پراکنش مکانی زیرساخت‌ها، لایه‌های مکانی زیرساخت‌ها تهیه شد. در این پژوهش، به‌منظور تعیین اندرکنش مکانی، از ماتریس حداقل فاصله و مدل سازگاری و ادغام این دو مدل استفاده شده است. مدل حداقل فاصله مکانی بر اساس داده‌های واقعی از طریق نرم‌افزار GIS استخراج شده و مدل سازگاری بر اساس نظرسنجی از ۲۰ کارشناس خبره در حوزه مدیریت زیرساخت‌های شهری به‌دست‌آمده است. شکل شماره (۱) نقشه پراکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز و جدول (۲) اجزای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه پراکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

جدول ۲. اجزای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

زیرساخت اصلی	علائم	اجزای زیرساخت	تعداد	زیرساخت اصلی	علائم	اجزای زیرساخت	تعداد
۱- خدمات اضطراری	A1	آتش‌نشانی	۲۶	۴- انرژی	D1	ایستگاه گاز	۲۸
	A2	مراکز انتظامی	۲۰		D2	پمپ‌بنزین و گاز	۱۷
	A3	مراکز هلال‌احمر و امداد و نجات	۲		D3	پست برق	۸
	A4	بیمارستان‌ها و مراکز بهداشت	۴۶		D4	تأسیسات نفتی	۵
	A5	اورژانس و سایر خدمات پزشکی	۴۳		D5	خطوط برق	-
	A6	اداره کل بسیج و پایگاه‌های مقاومت	۱۴		D6	شبکه گاز شهری	-

۲- سیاسی - مدیریتی	B1	مراکز نظامی	۱۶	۵- آب	E1	منبع آب	۸
	B2	مراکز قضایی	۷		E2	آب و فاضلاب	۱۰
	B3	صداوسیما	۲		E3	تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه	۱۰
	B4	استانداری، فرمانداری	۲		E4	ایستگاه‌ها پمپاژ فاضلاب	۲
	B5	سایر مراکز اداری و دولتی[1]	۲۷		E5	شبکه فاضلاب	–
۳- حمل‌ونقل	C1	راه‌آهن	۱	۶- مخابرات و ارتباطات	F1	مخابرات	۱۷
	C2	فرودگاه و پایانه‌ها	۳		F2	مراکز تلفن	۶
	C3	اداره راه‌وترابری، اداره اتوبوس و قطار شهری	۱۰		F3	پست‌بانک و خدمات الکترونیک	۱۰
	C4	شبکه راه‌های ارتباطی (جاده‌ای و ریلی)	–		F4	دکل مخابرات	۲

یافته‌ها

تحلیل اندرکنش مکانی (جغرافیایی) زیرساخت‌های شهری

گام اول: تعیین رتبه وابستگی مکانی – زیرساختی. جهت آنالیز اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز در گام اول امتیاز اندرکنش مکانی با استفاده از روش کمی برآورد شد به این نحو که زیرساخت‌های حیاتی به‌صورت دوبه‌دو باهم مقایسه و حداقل فواصل هر زیرساخت از سایر زیرساخت‌ها استخراج شد.جدول (۳) حداقل فواصل (D) زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز به‌صورت دوبه‌دو در مقایسه باهم را نشان می‌دهد.

جدول۳. نمونه‌ای از ماتریس حداقل فواصل (D) زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز به‌صورت دوبه‌دو

زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز		خدمات اضطراری						سیاسی – مدیریتی					حمل‌ونقل			
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
خدمات اضطراری	A1	۰	۱	۲۹	۱	۱	۱۲۰	۱	۷۲۱	۴۸۹	۱	۱	۳۳۸	۶۴۵	۳۷۷	۱
	A2	۱	۰	۲۰۰۹	۹۴	۴۲	۱۸۴	۴۱۶	۲۶۰	۷۶۳	۱۷۶۰	۱	۱۵۶۶	۷۷۵	۱۱۱۴	۱
	A3	۲۹	۲۰۰۹	۰	۵۵۹	۱۰۴۶	۱۲۴۸	۲۸	۹۸۰	۹۹۳	۹۳	۱۰۴۶	۳۲۷	۳۶۰۴	۴۴۹	۱
	A4	۱	۹۴	۵۵۹	۰	۱	۱	۱	۱۵۷	۲۶۹	۱۸	۱	۳۲۷	۳۱۱	۳۵	۱
	A5	۱	۴۲	۱۰۴۶	۱	۰	۱	۶۲۴	۲۳۴	۳۰۱	۶۲۷	۱۶	۱۰۸۴	۳۱۱	۱۴۴	۱
	A6	۱۲۰	۱۸۴	۱۲۴۸	۱	۱	۰	۷۰۴	۱۵۷	۲۶۹	۵۷۳	۱۵۰	۱۰۳۷	۱۰۹۲	۷۶	۱
سیاسی – مدیریتی	B1	۱	۴۱۶	۲۸	۱	۶۲۴	۷۰۴	۰	۴۴۷	۴۴۳	۱۸	۲۸	۱	۱۸۰۹	۱۶۱	۱
	B2	۷۲۱	۲۶۰	۹۸۰	۱۵۷	۲۳۴	۱۵۷	۴۴۷	۰	۱۶۷	۳۰۷	۴۵۲	۷۱۴	۱۱۸۶	۱۶۷	۱
	B3	۴۸۹	۷۶۳	۹۹۳	۲۶۹	۳۰۱	۲۶۹	۴۴۳	۱۶۷	۰	۳۲۵	۱۳۰	۸۶۹	۲۵۹۸	۳۸۴	۱
	B4	۱	۱۷۶۰	۹۳	۱۸	۶۲۷	۵۷۳	۱۸	۳۰۷	۳۲۵	۰	۱۰	۲۸۵	۳۶۵۴	۲۴	۱
	B5	۱	۱	۱۰۴۶	۱	۱۶	۱۵۰	۲۸	۴۵۲	۱۳۰	۱۰	۰	۳۳۱	۹۳۷	۲۴	۱
حمل‌ونقل	C1	۳۳۸	۱۵۶۶	۳۲۷	۳۲۷	۱۰۸۴	۱۰۳۷	۱	۷۱۴	۸۶۹	۲۸۵	۳۳۱	۰	۳۲۵۵	۲۲۵	۱
	C2	۶۴۵	۷۷۵	۳۶۰۴	۳۱۱	۳۱۱	۱۰۹۲	۱۸۰۹	۱۱۸۶	۲۵۹۸	۳۶۵۴	۹۳۷	۳۲۵۵	۰	۹۸۷	۱
	C3	۳۷۷	۱۱۱۴	۴۴۹	۳۵	۱۴۴	۷۶	۱۶۱	۱۶۷	۳۸۴	۲۴	۲۴	۲۲۵	۹۸۷	۰	۱
	C4	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰

ماتریس حداقل فواصل[2] (D) که با استفاده از نرم‌افزار GIS شناسایی و استخراج شد، از الگوی نامنظمی برخوردار است؛ به‌نحوی‌که بیشترین فاصله مکانی بین زیرساخت E4 و C1 با اندازه ۵۵۳۳ متر است و کمترین فاصله مکانی بین زیرساخت-هایی مانند A1 و A2 با اندازه ۱ متر است.

۱. کمیته امداد امام خمینی، بهزیستی، ستاد مدیریت بحران، شهرداری

۲. با توجه به گستردگی جدول تنها بخشی از آن بارگزاری شده است.

گام دوم: نرمال‌سازی ماتریس حداقل فاصله مکانی: در این مرحله حداقل فواصل (D) به‌دست‌آمده در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز را از طریق رابطه (۱) بی‌مقیاس‌سازی شده (B)، سپس از طریق رابطه (۲) اقدام به نرمال‌سازی داده‌ها شده است (N).

$$B_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_1^n D_{ij}}$$

رابطه (۱)

براین‌اساس B_{ij} امتیاز بی مقیاس‌سازی شده حداقل فاصله زیرساخت j از زیرساخت iام است.

$$N_{ij} = B_{ij} \times M$$

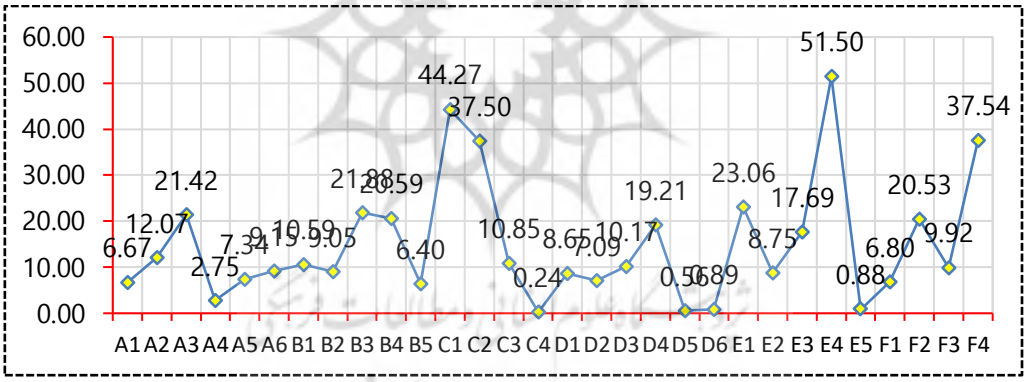
رابطه (۲)

براین‌اساس M تعداد کل زیرساخت‌های حیاتی مورد بررسی در پژوهش (۳۴۲ زیرساخت) و N_{ij} امتیاز نرمال‌شده زیرساخت j از زیرساخت iام است. سپس میانگین حسابی فاصله نرمال شده هر زیرساخت از طریق رابطه(۳) به دست آمد تا در گام بعد مبنای برای سنجش تأثیرات متقابل باشد.

$$\bar{s} = \frac{\sum_1^j N_{ij}}{n}$$

رابطه (۳)

براین‌اساس $\bar{S}$ میانگین فاصله نرمال شده برای هر زیرساخت است، $\sum_1^j N_{ij}$ مجموع امتیازهای نرمال‌شده زیرساخت i از مجموعه‌ای زیرساخت jام و n تعداد کل شاخص‌های پژوهش(۳۰ شاخص) است. شکل(۲) میانگین فاصله نرمال($\bar{S}$) برای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز را نشان می‌دهد.



شکل ۲. میانگین فاصله نرمال (S) برای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

خروجی مدل در شکل شماره (۲) نشان داده است که بیشترین میزان میانگین فاصله نرمال (S) برای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز مربوط به زیرساخت ایستگاه‌های پمپاژ آب و فاضلاب (E4) به میزان ۵۱/۵۰ است، به عبارتی شاخص مذکور بیشترین فاصله مکانی نسبت به سایر زیرساخت‌های حیاتی در این پژوهش را دارد، لذا کمترین اثر و نفوذ را در الگوی هم‌جواری زیرساختی ایجاد می‌کند. از طرفی دیگر کمترین میانگین فاصله نرمال به میزان ۰/۲۴ مربوط به زیرساخت شبکه راه‌های ارتباطی (C4) است، بنابراین شاخص مذکور بیشترین اثر را در الگوی هم‌جواری زیرساختی ایفا می‌کند.

گام سوم: تعیین اندرکنش مکانی – زیرساختی در شاخص حداقل فاصله: در این مرحله فاصله نرمال (N) را با میانگین فاصله نرمال آنها ($\bar{S}$) مقایسه کرده و از طریق رابطه(۴) تأثیرپذیری و تأثیرگذاری آنها را به دست آوردیم که عدد ۰ بدون تأثیر، عدد ۱ تأثیر کم، عدد ۲ تأثیر متوسط و عدد ۳ تأثیر زیاد را نشان می‌دهد. جهت استخراج تأثیرپذیری مجموع ستون و

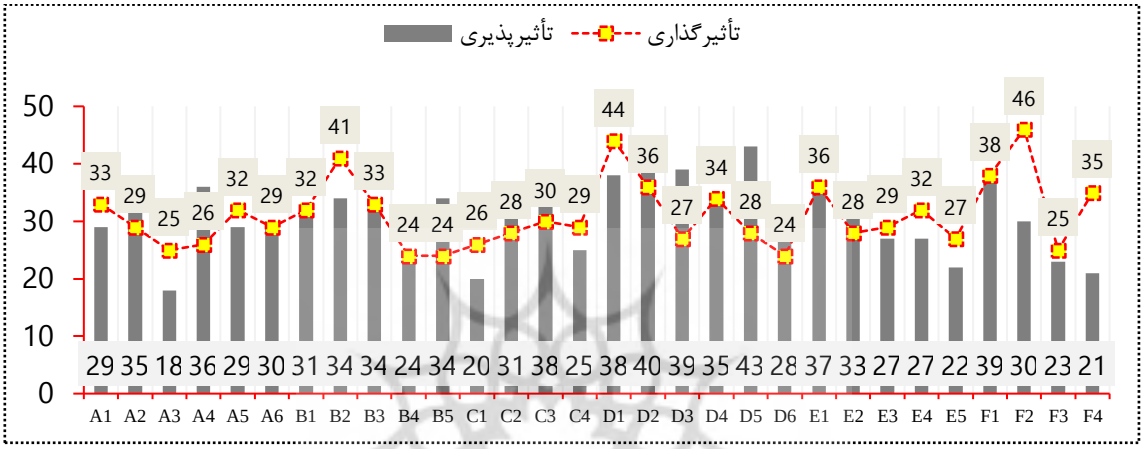
برای تأثیرگذاری مجموع سطر لحاظ شده است. شکل (۳) اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی اهواز بر مبنای ماتریس حداقل فاصله را نشان می‌دهد.

رابطه (۴):

$$E=0 \Leftrightarrow N_{ij} > \bar{S} \rightarrow 0 \qquad E=1 \Leftrightarrow 0 \le N_{ij} \le \frac{\bar{S}}{3} \rightarrow 1 \quad E=2 \Leftrightarrow \frac{\bar{S}}{3} < N_{ij} \le \frac{2}{3}\bar{S} \rightarrow 2$$

$$E=3 \Leftrightarrow \frac{2}{3}\bar{S} < N_{ij} \le \bar{S} \rightarrow 3$$

که E تأثیرات اندرکنش مکانی بر مبنای حداقل فاصله با طیف ۰ تا ۳ است.



شکل ۳. اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز بر مبنای ماتریس حداقل فاصله

تحلیل یافته‌ها با استفاده از ماتریس حداقل فاصله مکانی نشان می‌دهد، در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز بیشترین تأثیرگذاری را شاخص‌های مراکز تلفن (F2) و ایستگاه گاز(D1) به ترتیب با امتیاز ۴۶ و ۴۴ دارد. همچنین در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز، بیشترین تأثیرپذیری را شاخص‌های خطوط برق (D5) و پمپ‌بنزین و گاز (D2) به ترتیب با امتیازهای ۴۳ و ۴۰ دارد.

بر اساس خروجی‌های مدل پیاده شده برای شاخص حداقل فاصله، تأثیر متقابل مکانی زیرساخت‌های حیاتی به دست آمد که از مجموع ۹۰۰ حالت اندرکنش مکانی بین زیرساخت‌های حیاتی ۳۵۸ حالت بدون تأثیر، ۳۱۵ حالت تأثیر کم، ۶۶ حالت تأثیر متوسط و ۱۶۱ حالت تأثیر زیاد را نشان می‌دهد.

گام چهارم: تعیین اندرکنش مکانی بر اساس سازگاری مکانی: در این بخش تلاش شده که با بررسی اسناد مربوط به کاربری اراضی شهری، اطلاعات و داده‌های موردنیاز در جهت شناسایی وضعیت ناسازگار بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز ازنظرِ اندرکنش مکانی استخراج و مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. لازم به ذکر است به دلیل اینکه ایجاد سانحه‌ای مانند آتش‌سوزی در هریک از زیرساخت‌های حیاتی می‌تواند تهدیدی برای سایر زیرساخت‌های هم‌جوار آن به شمار آید، بنابراین جهت آنالیز اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز از روش کمی استفاده شد به این نحو که زیرساخت‌های حیاتی به‌صورت دوبه‌دو باهم مقایسه و در صورت وجود وابستگی مکانی (ناسازگاری یا ایجاد مزاحمت مکانی) عدد یک در صورت عدم وابستگی مکانی (سازگاری یا بی‌تفاوتی) عدد صفر در نظر گرفته شد.

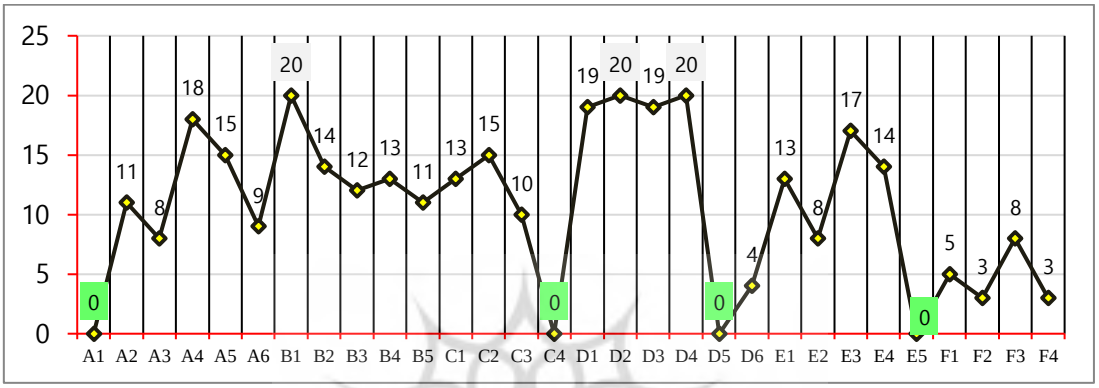
رابطه (۵): $C=0,1$ ناسازگاری $\rightarrow 1$ سازگاری $\rightarrow 0$

که C تأثیرات اندرکنش مکانی بر مبنای الگوی سازگاری با طیف ۰ و ۱ است. سپس با استفاده از رابطه (۶) مجموع وابستگی مکانی آن زیرساخت از سایر زیرساخت‌ها به‌دست‌آمده است.

$$F_i = \sum_1^j C_{ij}$$

رابطه (۶)

که F_i امتیاز وابستگی زیرساخت iام از لحاظ الگوی سازگاری است، $\sum_1^j C_{ij}$ مجموع وابستگی مکانی آن زیرساخت از سایر زیرساخت‌ها است. شکل (۴) میزان اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز باتوجه‌به الگوی سازگاری را نشان می‌دهد.



شکل ٤. میزان اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز باتوجه‌به الگوی سازگاری

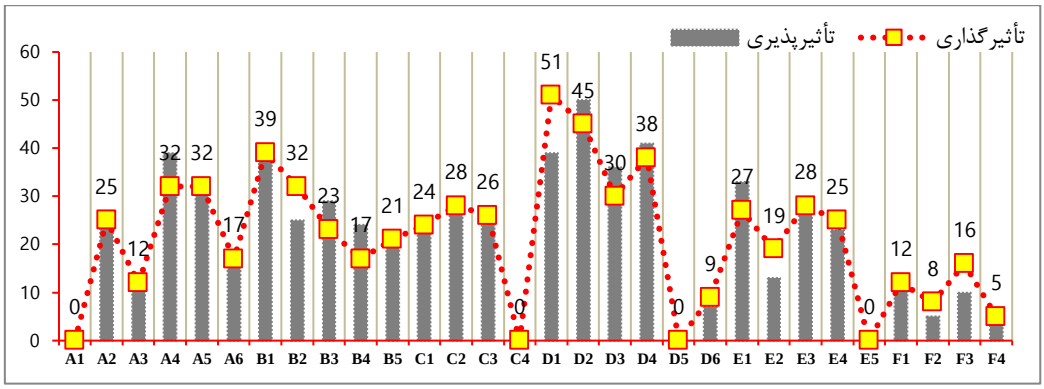
اندرکنش مکانی بر اساس مجاورت زیرساخت‌های حیاتی باتوجه‌به الگوی سازگاری یک زیرساخت از سایر زیرساخت‌ها در شهر اهواز محاسبه شده است. برای نمونه وضعیت سازگاری زیرساخت مراکز نظامی از سایر زیرساخت‌ها محاسبه و امتیاز مربوط به تحلیل اندرکنش مکانی آن مطابق رابطه ۵ تعیین شده است. امتیاز اندرکنش مکانی زیرساخت‌های مراکز نظامی، پمپ‌بنزین و گاز، تأسیسات نفتی ۲۰ می‌باشد و از لحاظ وابستگی رتبه ۱ را در بین زیرساخت‌های حیاتی منتخب دارد، بنابراین بیشترین وابستگی مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز باتوجه‌به الگوی سازگاری مربوط به زیرساخت‌های مراکز نظامی، پمپ‌بنزین و گاز، تأسیسات نفتی است. از طرفی کمترین وابستگی مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز باتوجه‌به الگوی سازگاری مربوط به زیرساخت‌های آتش‌نشانی، شبکه راه‌های ارتباطی، خطوط برق، شبکه فاضلاب با امتیاز ۰ است. (از منظر ایجاد سوانح شهری به دلیل سازگاری بالا این زیرساخت‌ها بی‌تاثیراند.)

گام پنجم: ادغام ماتریس اندرکنش مکانی حداقل فاصله و الگوی سازگاری: در این مرحله امتیازهای به‌دست‌آمده در مراحل حداقل فاصله و الگوی سازگاری ادغام می‌شوند به این صورت که زیرساخت‌های حیاتی امتیازی را که در مرحله حداقل فاصله به دست آورده بودند، در صورت سازگار بودن بر اساس الگوی سازگاری از دست می‌دهند و در صورت ناسازگار بودن مجموع امتیازات کسب شده در هر دو مرحله در نظر گرفته خواهد شد (رابطه ۷). شکل (۵) میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری ناشی از ادغام اندرکنش مکانی حداقل فاصله و سازگاری را نشان می‌دهد.

$$C = 0, A \rightarrow 0 \qquad C = 1, A \rightarrow E + C$$

رابطه (۷):

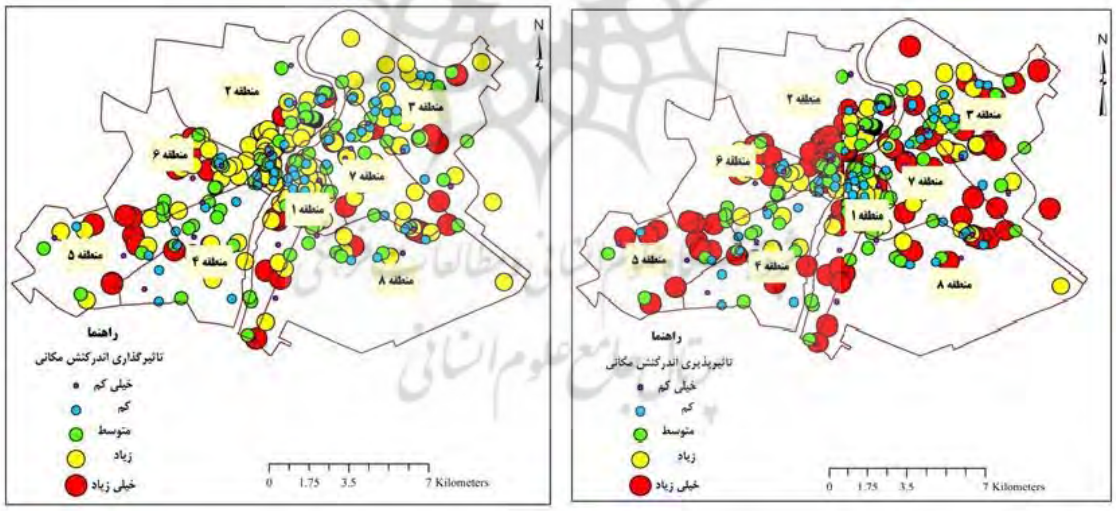
که A ادغام ماتریس اندرکنش مکانی حداقل فاصله و الگوی سازگاری است.



شکل ۵. میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری ناشی از ادغام اندرکنش مکانی حداقل فاصله و سازگاری

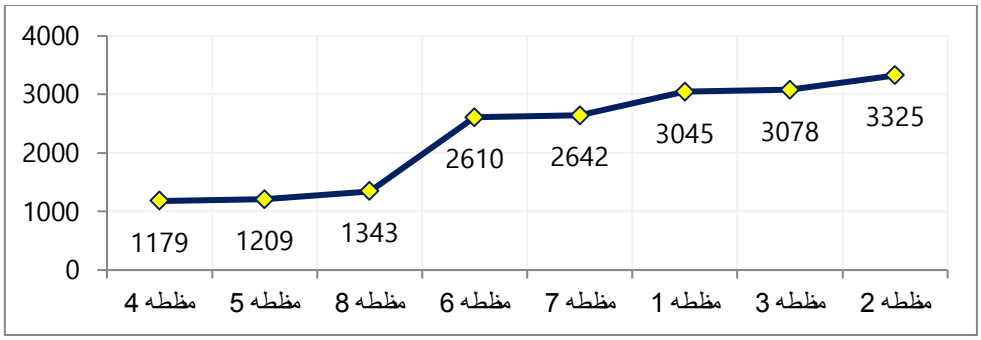
بحث

پس از استخراج میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز با استفاده از ادغام مدل حداقل فاصله و سازگاری، اقدام به تحلیل فضایی به‌وسیله نرم‌افزار GIS شد که منجر به ترسیم نقشهٔ پراکنش نهایی تأثیرپذیری و تأثیرگذاری شد. شکل (۶) مدل مکانی تأثیرگذاری (الف) و تأثیرپذیری (ب) اندرکنش مکانی – زیرساختی شهر اهواز را نشان می‌دهد. برای به‌دست‌آوردن امتیاز اندرکنش مکانی هر منطقه شهری اهواز، ابتدا تعداد زیرساخت حیاتی آن منطقه شناسایی و در میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری نهایی حاصل از ادغام دو مدل حداقل فاصله و سازگاری (مقادیر شکل ۵) ضرب می‌شود. سپس مجموع آنها به‌عنوان امتیاز اندرکنش آن منطقه لحاظ می‌شود.



شکل ٦. مدل مکانی تأثیرگذاری (الف) و تأثیرپذیری (ب) اندرکنش مکانی – زیرساختی شهر اهواز

بر اساس شکل شماره (۶)، در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز بیشترین تأثیرگذاری را شاخص‌های ایستگاه گاز (D1) و پمپ‌بنزین و گاز (D2) به ترتیب با امتیاز ۵۱ و ۴۵ دارد. همچنین در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز، بیشترین تأثیرپذیری را شاخص‌های پمپ‌بنزین و گاز (D2) و تأسیسات نفتی(D4) به ترتیب با امتیازهای ۵۰ و ۴۱ دارد. بنابراین تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین زیرساخت‌ها در اندرکنش مکانی مربوط به شاخص انرژی می‌باشد. شکل شماره (۷) مجموع امتیاز زیرساخت‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر شهر اهواز را از نظر اندرکنش مکانی نشان می‌دهد.



شکل ۷. مجموع امتیاز زیرساخت‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر شهر اهواز از نظر اندرکنش جغرافیایی

رتبه‌بندی مناطق هشت‌گانه شهر اهواز بر اساس مجموع امتیاز نهایی حاصل از ضرب میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در تعداد زیرساخت نشان می‌دهد که مناطق دو، سه و یک به ترتیب بیشترین و مناطق پنج، چهار و هشت نیز کمترین مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری حاصل از اندرکنش مکانی را دارند.

باتوجه‌به آنچه گفته شد، اهمیت اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی بر کسی پوشیده نیست. اما باید دید اثرات آبشاری ناشی از این اندرکنش‌ها چیست و در حقیقت برای مقابله سیستماتیک با شوک‌ها و اختلالات وارد شده بر زیرساخت‌های شهری باتوجه‌به چه رویکردی می‌توان مقاومت نمود. ازآنجاکه زیرساخت‌ها، یک شبکه یکپارچه و به‌هم‌وابسته را تشکیل می‌دهند، وقوع اختلال در یک زیرساخت (یک زیر سیستم) می‌تواند در تمامی سیستم‌ها منتشر شده و حتی به‌تدریج در سایر زیرساخت‌ها هم تشدید شود. دامنه اختلال‌ها و عوارض نامطلوب آن نیز می‌تواند سیستم شهر را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار دهد. سوانح مختلف شهری و تهدید زیرساخت‌های حیاتی می‌توانند آغازگر جریانی از اختلال‌های مخرب در شبکه زیرساختی شهر بوده و فعالیت‌های مدیریت بحران و حتی برخی فعالیت‌های طبیعی شهر را با مشکل مواجه سازند. اختلال-های آبشاری در زیرساخت‌های شهری بر اثر سوانح مختلف و قریب‌الوقوع می‌توانند زیرساخت‌های حیاتی را با مشکلات جدی در امر خدمات‌رسانی روبرو کنند.

نتیجه‌گیری

بر اساس اثرات اندرکنش زیرساختی، اتخاذ روش‌هایی برای کاهش آسیب‌پذیری و محدودکردن دامنه انتشار عوارض ناشی از تهدیدات زیرساخت‌های حیاتی ضروری است. به همین منظور، باتوجه‌به اهمیت شناسایی حساسیت زیرساخت‌ها و پهنه‌های شهری در مواجهه با تهدیدات در برنامه‌ریزی، در این پژوهش روشی برای کمی‌سازی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها و پهنه‌های شهری ارائه شد. یکی از مزیت‌های تحلیل اندرکنشی، درنظرگرفتن ابعاد مختلف وابستگی زیرساخت‌ها به یکدیگر و همچنین وابستگی عملکرد شهر به این زیرساخت‌هاست. در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از روشی پیشنهادی زمینه استفاده از مفهوم اندرکنش مکانی زیرساخت‌ها در مفاهیم برنامه‌ریزی فراهم گردد.

در این پژوهش، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر اندرکنش مکانی شهر اهواز اجزای زیرساخت‌های حیاتی در ۳۰ متغیر شناسایی شد که باتوجه‌به ماتریس حداقل فاصله مکانی تأثیرگذارترین شاخص مربوط به زیرساخت مراکز تلفن و تأثیرپذیرترین شاخص مربوط به زیرساخت خطوط برق است. همچنین باتوجه‌به الگوی سازگاری بیشترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز مربوط به زیرساخت‌های مراکز نظامی، پمپ‌بنزین و گاز، تأسیسات نفتی و کمترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مربوط به زیرساخت‌های آتش‌نشانی، شبکه راه‌های ارتباطی (جاده‌های و ریلی)، خطوط

برق، شبکه فاضلاب است. نتایج ادغام ماتریس حداقل فاصله مکانی و الگوی سازگاری نشان می‌دهد که در بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز تأثیرگذارترین شاخص مربوط به متغیر ایستگاه گاز و تأثیرپذیرترین شاخص مربوط به متغیر پمپ‌بنزین و گاز است. از لحاظ پراکنش جغرافیایی بیشترین زیرساخت‌های حیاتی تأثیرگذار در حاشیه شهر اهواز است، به این دلیل که زیرساخت‌های مربوط ابتدا در پیرامون شهر مکان‌یابی شدند؛ ولی به‌مرورزمان که شهر توسعه پیدا کرد، کاربری‌های دیگری این زیرساخت‌ها را احاطه کردند که اصول هم‌جواری در انتخاب مکان آنها رعایت نشده است. همچنین پراکنش زیرساخت‌های حیاتی تأثیرپذیر در مناطق مرکزی به‌ویژه پهنه اهواز قدیم تراکم بیشتری دارد، به این دلیل که تنها اصول هم‌جواری در انتخاب مکان اولیه این زیرساخت‌ها رعایت نشده بود؛ بلکه به‌مرور بعضی از بلوک‌ها فرسودگی پیدا کرده‌اند و در صورت تهدید زیرساخت‌های حیاتی این محدوده، شعاع تخریب به دلیل تراکم بالا و فرسودگی بافت بیشتر شده است، به‌صورت کلی زیرساخت‌های حیاتی تأثیرپذیر نسبت به زیرساخت‌های حیاتی تأثیرگذار پراکنش یکنواخت‌تری را در کل مناطق اهواز دارد. در این تحقیق به این نتیجه دست یافتیم که اندرکنش مکانی زیرساخت‌های انرژی، خدمات اضطراری و سیاسی – مدیریتی در بروز و تشدید سوانح شهری اثرات شدیدتری دارند و شبکه راه‌های ارتباطی، مراکز آتش‌نشانی، خطوط برق و شبکه فاضلاب هیچ‌گونه تأثیری در بروز سوانح شهری یا تشدید خسارات و تلفات ندارند، بنابراین برخی از زیرساخت‌های حیاتی تأثیری منفی بر اندرکنش مکانی ندارند و صرفاً این تأثیرات در مدیریت سوانح مثبت تلقی می‌شوند. پس از شناخت میزان وابستگی مکانی زیرساخت‌های حیاتی، گام بعدی در پرداختن به موضوع وابستگی‌ها زیرساخت در برنامه‌ریزی شهری، ارائه راهکارهایی برای افزایش میزان تاب‌آوری است. به‌طورکلی راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود: بالابردن استحکامات امنیتی زیرساخت حساس به‌ویژه زیرساخت انرژی؛ جانمایی مجدد زیرساخت حیاتی ناسازگار به‌ویژه زیرساخت ایستگاه گاز و پمپ‌بنزین و گاز؛ درنظرگرفتن شبکه‌های پشتیبان برای افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های سیاسی – مدیریتی در برابر سوانح؛ استفاده از اصل مقاوم‌سازی و سازگاری در بهبود کمیت و کیفیت زیرساخت‌های خدمات اضطراری؛ نوسازی و مرمت زیرساخت‌های مربوط به شبکه آب؛ اصلاح مدیریت شهری و استفاده از اصول پدافند غیرعامل در امر برنامه‌ریزی؛ تعدیل توزیع فضایی جمعیت و عملکرد در بخش مرکزی شهر اهواز؛ درنظرگرفتن تمهیدات ویژه برای مقابله با بحران و در جهت کاهش آسیب‌پذیری و پهنه اهواز قدیم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

اسکندری، محمد؛ امیدوار، بابک و توکلی ثانی، محمدصادق. (۱۳۹۳). تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی با درنظرگرفتن اثرات وابستگی در اثر حملات هدف‌مند. *مدیریت بحران، ویژه‌نامه هفته پدافند غیرعامل* ۳(۹۳)، ۱۹–۳۰.

امان‌پور، سعید، محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی و پرویزیان، علیرضا. (۱۳۹۷). ارزیابی الزامات پدافند غیرعامل در هم‌جواری صنایع (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز). *جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، ۶۲*، ۲۴۴ — ۲۱۷

پرویزیان، علیرضا. (۱۳۹۵). *ارزیابی الزامات پدافند غیرعامل در هم‌جواری صنایع مطالعه موردی کلان‌شهر اهواز*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، به راهنمایی دکتر سعید امان پور، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

زارعی، لیلا. (۱۳۹۵). *بررسی اندرکنش آب و زیرساخت‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سیلاب‌های ساحلی و اثرات زیست‌محیطی شکست این سیستم‌ها*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی محیط‌زیست – منابع آب، به راهنمایی دکتر فریدون غضبان و دکتر محمد کارآموز، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

عبدالهی، مجید؛ حسینی، بشیر و احمدی توانا، بهمن. (۱۳۹۳). ارائه مدل تحلیل اندرکنشی در مدیریت ریسک شهری جهت ارزیابی میزان حساسیت زیرساخت‌ها و پهنه‌های شهری. *دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری*، تهران، https://civilica.com/doc/362974

علیزاده، مهدی. (۱۳۹۵). *ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری کوهدشت با رویکرد پدافند غیرعامل*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، به راهنمایی دکتر سعید امان پور، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی. (۱۳۹۲). *ایمنی و پدافند غیرعامل شهری*. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی؛ علیزاده، هادی و عباسی گوجانی، داود. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۷(۲). ۳۷۵-۳۹۱.

محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی؛ فیروزی، محمدعلی و پرویزیان، علیرضا. (۱۴۰۱). تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی در زیرساخت‌های حیاتی حین مخاطرات شهری در اهواز. *مجله آمایش سرزمین*، ۱۴(۲)، ۵۴۲-۵۲۳

نکوئی، محمدعلی؛ رودباری، ساره و طاهرخانی، روح‌الله. (۱۳۹۵). چارچوب تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها با استفاده از شبکه گراف. *هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران*، تهران، https://civilica.com/doc/560042

نوراللهی، حانیه؛ سلیمانی، عاطفه؛ برزگر، اکرم و علیدوستی، علی. (۱۳۹۲). ارزیابی میزان حساسیت دارایی‌ها و پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل اندرکنشی با رویکرد برنامه‌ریزی شهری. *مدیریت بحران*. ۲(۲)، ۴۱-۳۳

References

Abdulahi, M., Hosseini, B., & Tawana Ahmadi, B. (2013). Presenting an interactive analysis model in urban risk management to assess the sensitivity of infrastructure and urban areas, *the second national conference on crisis management and HSE in vital arteries, industries and urban management*, Tehran, https://civilica.com/doc/362974. (In Persian)

Alizadeh, M. (2015). Vulnerability assessment of urban infrastructures of Kohdasht with passive defense approach, master's thesis, geography and urban planning, under the guidance of Amanpour, S. Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)

Amanpoor, D., Mohamadi dehcheshmeh, D., & Parviziyan, A. (2018). Evaluation of Passive Defense Requirements in the Industrial Neighborhood (Case Study: Ahwaz Metropolis). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, *8*(26), 217-244. (In Persian)

Chen, Chao., Reniers, Genserik., & Khakzad, Nima. (2019). Integrating safety and security resources to protect chemical industrial parks from man-made domino effects: A dynamic graph approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, (2), 106-114

Enrico, C., Massimiliano, A., Ottaviob, G., & Paolo, T. (2011). Risk analysis of underground infrastructures in urban areas, *Reliability Engineering & System Safety*, 96, (1), 139-148

Eskandari, M., Omidvar, B., & Tavakoli Sani, M. S. (2015). Loss estimation of interdependent infrastructures in targeted attacks. *Emergency Management*, *3*(Special Issue of Passive Defense Week 93), 19-30. (In Persian)

Magoua, J. J., Wang, F., & Li, N. (2022). High level architecture-based framework for modeling interdependent critical infrastructure systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 118,(2), 102-129.

Mohammadi De Chashmeh, M. (2012). Urban passive safety and defense, Ahvaz Shahid Chamran University Publications. (In Persian)

Mohammadi Deh Cheshme, M., Ferozi, M. A., & Parvizian, A. (2022). Developing Scenarios of Geographic Interaction in Critical Infrastructure During Urban Hazards in Ahvaz. *Town and Country Planning*, *14*(2), 523-542. (In Persian)

Mohammadi Dehcheshmeh, M., Alizadeh, H., & Abasi Gojani, D. (2019). The Spatial Analysis of the Indicators Explaining Resilience in the Transportation Infrastructure (Case Study: Ahwaz Metropolis, Iran). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *7*(2), 375-391. doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042. (In Persian)

Mohammadi Dehcheshmeh, Mostafa & Ghaedi, Sohrab. (2020). Climate Change and Ecological Migration: A Study of Villages in the Province of Khuzestan, Iran, *Environmental Research, Engineering and Management*, 76 (1), 6-19

Nakoi, M., Rudbari, S., & Taherkhani, R. (2015). Infrastructure vulnerability analysis framework using graph network, *8th International Comprehensive Crisis Management Conference*, Tehran, https://civilica.com/doc/560042. (In Persian)

Nourollahi, H., Soleimani, A., Barzegar, A., & Alidusti, A. (2014). Critical assement of assests and areas in the city using interdependency analysis – An urbun planning approach. *Emergency Management*, *2*(2), 33-41. (In Persian)

Parvizian, A. (2015). Evaluation of Passive Defense Requirements in the Industrial Neighborhood (Case Study: Ahwaz Metropolis), master's thesis, geography and urban planning, under the guidance of Amanpour, S. Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)

Patel, R., Sanderson, D., Sitko, P., & Boer, J. (2020). Investigating urban vulnerability and resilience: a call for applied integrated research to reshape the political economy of decision-making, *Environment and Urbanization*, 32(2), 589-598.

Philip, B., Justin, K., Matt Malecha, C., Jaimie Masterson, d., Paula Shea, E., & Siyu Yu, C. (2021). Using a resilience scorecard to improve local planning for vulnerability to hazards and climate change: An application in two cities, *Cities*, 119 (2), 1-12.

Robert, B., & Morabito, L. (2010). An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(1), 17–30. doi:10.1504/ijcis.2010.029574

Sarkissian, R., Cariolet, J. M., Diab, Y., & Vuillet, M. (2022). Investigating the importance of critical infrastructures' interdependencies during recovery; lessons from Hurricane Irma in Saint-Martin's island. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67 (2), 102-155.

Sharma, N., & Gardoni, P. (2022). Mathematical modeling of interdependent infrastructure: An object-oriented approach for generalized network-system analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 217(2), 108-121.

Sun, W., Bocchini, P., & Davison, B. D. (2022). Overview of Interdependency Models of Critical Infrastructure for Resilience Assessment. *Natural Hazards Review*, 23(1), 21-38.

Wang, L., Xue, X., Wang, Z., & Zhang, L. (2018). A Unified Assessment Approach for Urban Infrastructure Sustainability and Resilience. *Advances in Civil Engineering*, 2018, (2), 1–19.

Wang, Z., Fu, Z., Zou, Y., Liu, L., & Liu, H. (2011). Study on Risk Assessment of Urban Gas Pipeline Based on Domino Effect, [*American Society of Civil Engineers International Conference on Pipelines and Trenchless Technology Beijing*, China (October 26-29, 2011)]. (423)182

Xiao, Y., Zhao, X., Wu, Y., Chen, Z., Gong, H., Zhu, L., & Liu, Y. (2022). Seismic resilience assessment of urban interdependent lifeline networks. *Reliability Engineering & System Safety*, 218 (2), 108-116.

Yang, Z., Clemente, M. F., Laffréchine, K., Heinzlef, C., Serre, D., & Barroca, B. (2022). Resilience of Social-Infrastructural Systems: Functional Interdependencies Analysis. *Sustainability*, 14(2), 606-616

Zarei, L. (2015). Investigating the interaction of water and the infrastructure of urban sewage treatment plants in coastal floods and the environmental effects of the failure of these systems, Master's Thesis, Environmental Engineering - Water Resources, under the guidance of Dr. Fereydoun Ghadban and Dr. Mohammad Karamoz, Faculty of Environment, University of Tehran. (In Persian)