



## Research Paper

# Effects of Urban Space Limitations on the Performance of Firefighting Forces and Vehicles During a Disaster in Tehran, District 19



\*Afrasyab Kheirdast<sup>1,2</sup> , Mahdi Mahdavi<sup>3,4</sup>, Saeed Ajourloo<sup>3,5</sup> 

1. Department of Environmental Management, N.T.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Training Manager Region 8, Tehran Fire Department Operations, Tehran, Iran.
3. Department of Crisis Management, Faculty of Management and Economics, S.R.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Fire Commander Region 8, Tehran Fire Department Operations, Tehran, Iran.
5. Rescue Commander Region 8, Tehran Fire Department Operation, Tehran, Iran.



**Citation** Kheirdast, A., Mahdavi, M., & Ajourloo, S. (2026). Effects of Urban Space Limitations on the Performance of Firefighting Forces and Vehicles During a Disaster in Tehran, District 19. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(4):544-573. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.4.821.1>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.4.821.1>

## ABSTRACT

**Background and objective** To reduce the risks of fire accidents, it is essential to analyze space-time constraints for firefighters. In district 19 of Tehran city, Iran, the spatio-temporal patterns of fires vary depending on time, location, and causes. Considering the blockage of crossings, poor urban fabric, and the lack of supervision by authorities over urban traffic in this district, it is essential to address the challenges of firefighters due to limited urban space. Therefore, this study aimed to investigate the impact of urban space limitations on the performance of firefighting forces and trucks during a disaster in Tehran, District 19.

**Method** This is a descriptive-correlational study. The study population consists of all operational staff of fire stations in District 19 of Tehran, Iran (n=210). Of these, 132 participants were selected randomly. The data collection tool was a questionnaire with 30 items, measuring urban space limitations (urban infrastructure problems, dilapidated fabric, population growth, and public transportation problems) and performance. Smirnov-Kolmogorov test was used to determine the normality of data distribution. Regression analysis was used to determine the relationship between the variables.

**Results** The regression coefficient of dilapidated urban fabric, urban infrastructure problems, population growth, and public transportation problems were -0.51, -0.48, -0.45, and -0.32, respectively (P<0.001). They predicted 26.2%, 23.7%, 20.9%, and 10.5% of the decline in the performance of firefighters and fire trucks, respectively.

**Conclusion** Urban space limitations, including dilapidated urban fabric, urban infrastructure problems, population growth, and public transportation problems, have a significant negative effect on the performance of firefighting forces and trucks in District 19 of Tehran.

**Keywords** Fire fighters, Disasters, Urban space, Tehran

### Article Info:

Received: 28 Jan 2025

Accepted: 05 Apr 2025

Available Online: 01 Jan 2026

### \* Corresponding Author:

Afrasyab Kheirdast, PhD.

Address: Department of Environmental Management, N.T.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 5467084

E-mail: [a.kheirdast@gmail.com](mailto:a.kheirdast@gmail.com)



Copyright © 2026 The Author(s);

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

## English Version

### Introduction

**F**irefighting is one of the most important professions, and its effective performance is closely linked to protecting people's lives and property. The performance of firefighters in extinguishing urban fires is a major concern for fire departments. This has led to the identification of operational reliability as a key goal of fire departments. Therefore, extensive efforts have been made to enhance firefighters' performance. To improve their performance, given the lack of physical space in some areas, it is necessary to examine and explore the factors affecting it. To create a suitable platform for improving firefighter performance, firefighting equipment has also become an important indicator. The lack of facilities and equipment for firefighters during incidents can cause irreparable damage to their performance. In this regard, creating a suitable space for firefighters and their facilities and equipment to operate during incidents is a concern for fire department managers. Inappropriate urban design can create numerous challenges for firefighters during incidents. Because fire incidents occur suddenly, these barriers can adversely affect firefighters' performance. Given the importance of maneuverability for firefighting vehicles equipped with ladders, lifts, and cranes, the failure to apply safety regulations in urban design underscores the need to examine the limitations of urban spaces. Dispatch forces and fire trucks need certain conditions in urban areas to improve their performance.

Due to the lack of studies on the impact of urban space limitations on firefighting performance during disasters, there is insufficient scientific evidence regarding the real effects of such limitations. Considering the characteristics of District 19 of Tehran city, Iran, and the existence of potential risk for fire incidents in this district, the present study aims to investigate the impact of urban space limitations on the performance of dispatched forces and fire trucks during a disaster. The research question is: Do urban space limitations affect the performance of dispatched forces and fire trucks during a disaster in the study region? The main research hypothesis was as follows: urban space limitations have a significant impact on the performance of dispatched forces and fire trucks during a disaster in District 19. The secondary hypotheses were as follows: dilapidated urban fabric, urban infrastructure problems, population growth, and public transportation problems affect the performance of dispatched forces and fire trucks in District 19.

### Theoretical foundation and Literature review

In disaster management, urban space plays a fundamental role. Urban planning policies and principles governing urban spaces are one of the important issues in improving disaster management. Managing urban spaces and arranging them appropriately can help to manage natural and man-made disasters more appropriately (Calvet-Mir and March, 2019). Firefighter access to the incident area is an important issue in disaster management of urban settings (Stolf et al., 2019). Urban spaces should be designed in response to crisis situations (Shatkin, 2019). Also, changes in human response to disasters over time, along with rational planning, prevention, and education, are needed to mitigate their consequences (Ajorloo et al., 2023). Timely service provision by fire stations requires their deployment in appropriate locations and having the necessary equipment to respond to the needs of citizens (Padash and Khairdast, 2023). To address the inadequate distance of fire stations with historic and dilapidated buildings that lead to fire spread, some studies have been conducted by using the fire dynamic simulator (Zhang et al., 2024). A study in Europe showed that, between 2016 and 2022, firefighters were alerted by the e-call system 896 times. The shortest average intervention time was 47±37 min and was recorded in 2021. Also, the intervention time was significantly dependent on the number of cars involved in the incident (Kubiak et al., 2024). The early warning of fires is pivotal for preventing substantial economic losses and ecological damage. However, the enhancement of fire model generalization performance still faces challenges due to limitations in existing fire datasets, such as image quantity and heterogeneity (Wang et al., 2024).

Fires can cause significant human and financial losses in urban areas, which can be exacerbated by increased fire volume associated with higher wind speeds (Strydom and Savage, 2024). In disaster management, estimating response time plays a very important role. Firefighting response time is the time of the firefighting truck's arrival at the incident site after receiving an emergency call. The use of appropriate parameters can be helpful for a successful emergency response (Bujang et al., 2023). To assess the time to reach a fire scene, the Particle Swarm Optimization and the Genetic Algorithm can be used, and to calculate the response time to the incident in the shortest possible time, the NFPA1720 standard can be employed (Kheirdoost et al., 2024). Assessing fire risk considering urban spatial constraints from socio-economic, landscape planning, and risk management perspectives is applicable in any country (Gültekin et al., 2024).

In recent years, the traditional approach to risk management in urban areas has shifted from focusing solely on reducing vulnerability and mitigating risk to increasing resilience. This new approach has created a better capacity to respond to disasters in urban areas (Moaddeb and Amini, 2023). Urban design management is an appropriate approach to addressing urban challenges, particularly disasters (Hajibabae et al., 2013). Over time, the limitations of urban spaces have changed in the conflict between modernity and tradition (Ashori and Azizi, 2023). The increase in the size, population, and spatial elements and structures of cities has created physical-spatial complexities, making it difficult to understand urban relations and to recognize the main structure and texture of cities and their morphology through analysis of all urban components. Analyzing the spatial structure of cities requires methods that can respond to these complexities (Raheb and Farhadian, 2023). It is necessary that emergency facilities in cities, such as fire stations, be optimally located to respond to disasters quickly and efficiently. This is important because these facilities are created to provide emergency services; they must be able to cover the entire disaster area (Tahmasebi et al., 2020).

In today's world, urban space limitation is one of the most significant urban planning problems (Nounjad et al., 2020). Natural and man-made disasters that have occurred

in Iran in recent years indicate that cities have become increasingly vulnerable and the risks of fires have increased. The urban management approach to these disasters has focused on reducing risk and vulnerability (Khodabandehloo et al., 2024). Currently, almost every city has a large number of commercial streets that can form street canyons due to their narrow width and limited space. When a fire occurs on one side of a building, it may affect buildings on the other side of the street (Dong et al., 2024). Narrow streets, although facilitating the mobility and daily life of urban and rural residents, also pose fire safety concerns. Catastrophic combustion phenomena confined spaces can lead to significant loss of life and property (Wang Zhe et al., 2024) as well as problems such as difficult extinguishing, high fire rate, and long duration. Confined spaces pose significant risks to firefighters due to difficult accessibility, crowding, poor ventilation, and the presence of potentially toxic gases (Akano et al., 2024).

### Study area

District 19 is located in the southernmost part of Tehran at a geographical position of 35° 62'80" N and 51° 36'27" S, and is adjacent to Districts 16, 17, 18, and 20. This district, with an area of 92 km<sup>2</sup>, has 13 neighborhoods and 5 regions; three regions (1, 2, and 3) are located in the urban area, north of the Azadegan Highway.

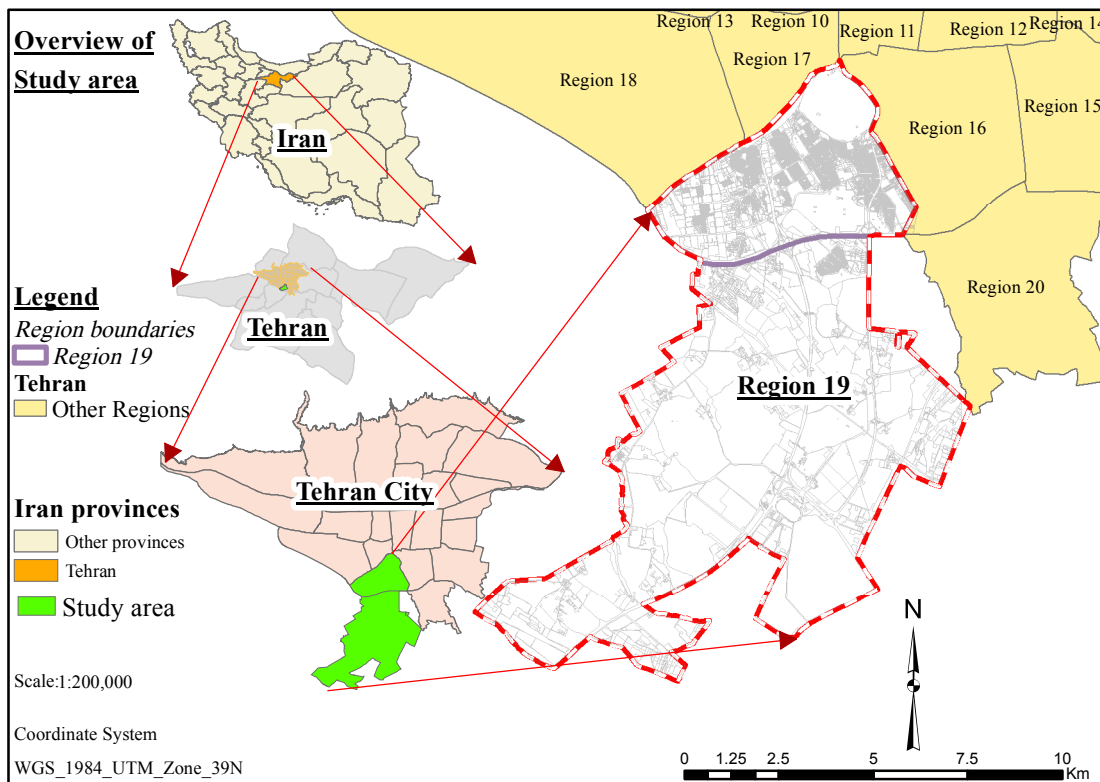


Figure 1. Map of District 19, Tehran

They cover an area of 20 km<sup>2</sup> and are home to 295,000 people, who live in 64,000 households, according to the latest statistics. Other regions (4 and 5) each include 13 villages and have an area of approximately 72 km<sup>2</sup>. The villages are located in the Aftab region according to the divisions made by the Iranian Ministry of Interior. Figure 1 shows the geographical location of District 19. In this district, there are 8 fire stations for extinguishing, rescue, and support, of which 3 are outside the area (Figure 2, 3). The number of operational forces and fire trucks in the district is presented in Table 1. Due to the size and population of this district, the existing fire stations cannot perform optimally during a disaster (Kheirdast et al., 2024). Among the regions in District 19, Region 1 has the highest building and population density, which is one of the sub-criteria for examining the performance of firefighters in our study. Figure 4 shows the population density of this region to examine the population growth. Population density in District 19 is 126 people per 10,000 m<sup>2</sup>. In District 19, people have relatively good access to public and road transportation. Two metro lines with about 10 metro stations pass through this district. There are also 151 bus stops. The area of dilapidated urban fabric in District 19 was 160,000 m<sup>2</sup>; the percentage of dilapidated urban fabric is 0.8 %; and the percentage of unstable urban fabric is 10.7 % (Figure 5). Additionally, the existence of highways, including the Azadegan Highway, Ayatollah Saeedi

Highway, Tondguyan Highway, and Kazemi Highway, has made this district important with respect to traffic. Figures 6 and 7 show the location of highways and metro lines in District 19.

### Materials and Methods

This is a descriptive correlational study. The study population consists of all operational staff of fire stations in District 19 of Tehran, Iran (n= 210). Morgan's table was used to determine the sample size, which was determined to be 132. The sampling was done randomly. After distributing and collecting the questionnaires, 125 completed questionnaires were analyzed.

In this study, urban space limitations, including urban infrastructure problems, dilapidated fabric, population growth, and public transportation problems, were independent variables, and the performance of firefighting forces and trucks was the dependent variable. The presence of dilapidated buildings, population growth, and urban infrastructure problems (covering gas and petrol stations, urban facilities) negatively affects firefighters' performance. On the other hand, public transportation problems that facilitates the evacuation of people affected by the disaster can positively affect firefighters' performance

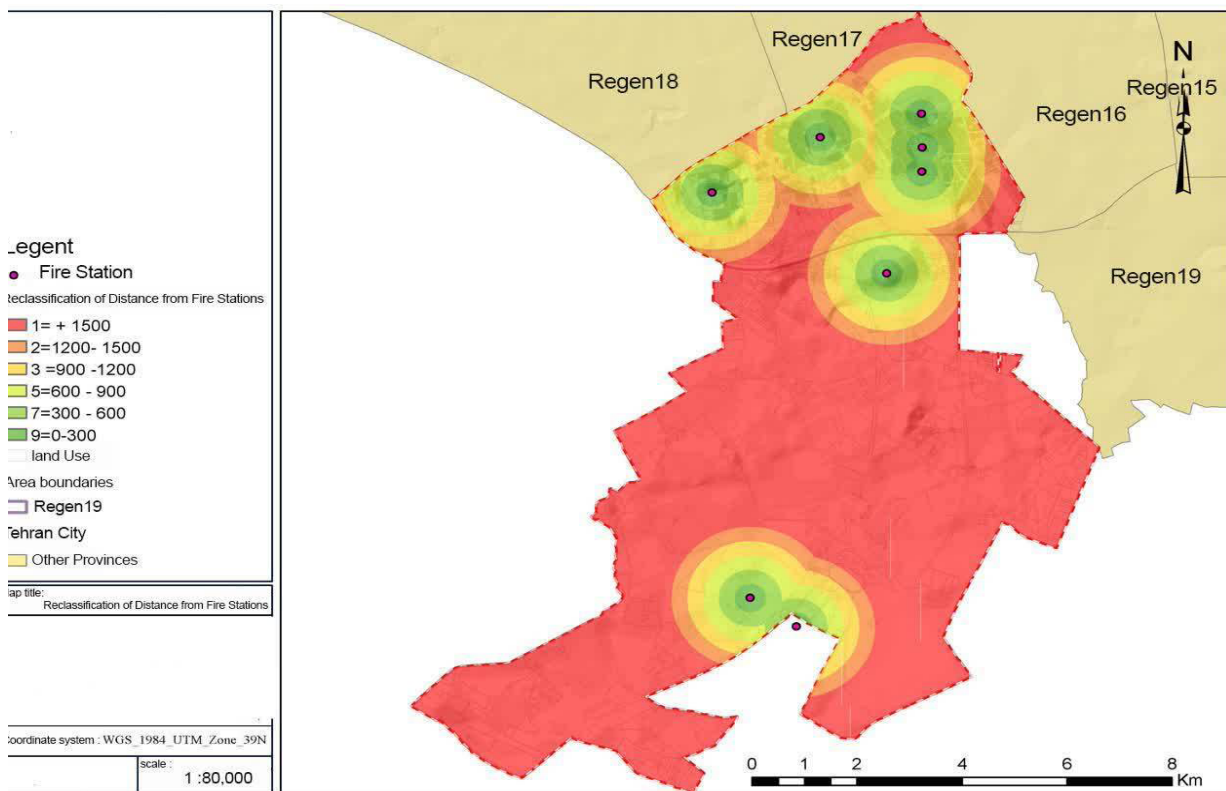


Figure 2. Geographic location of fire stations in District 19

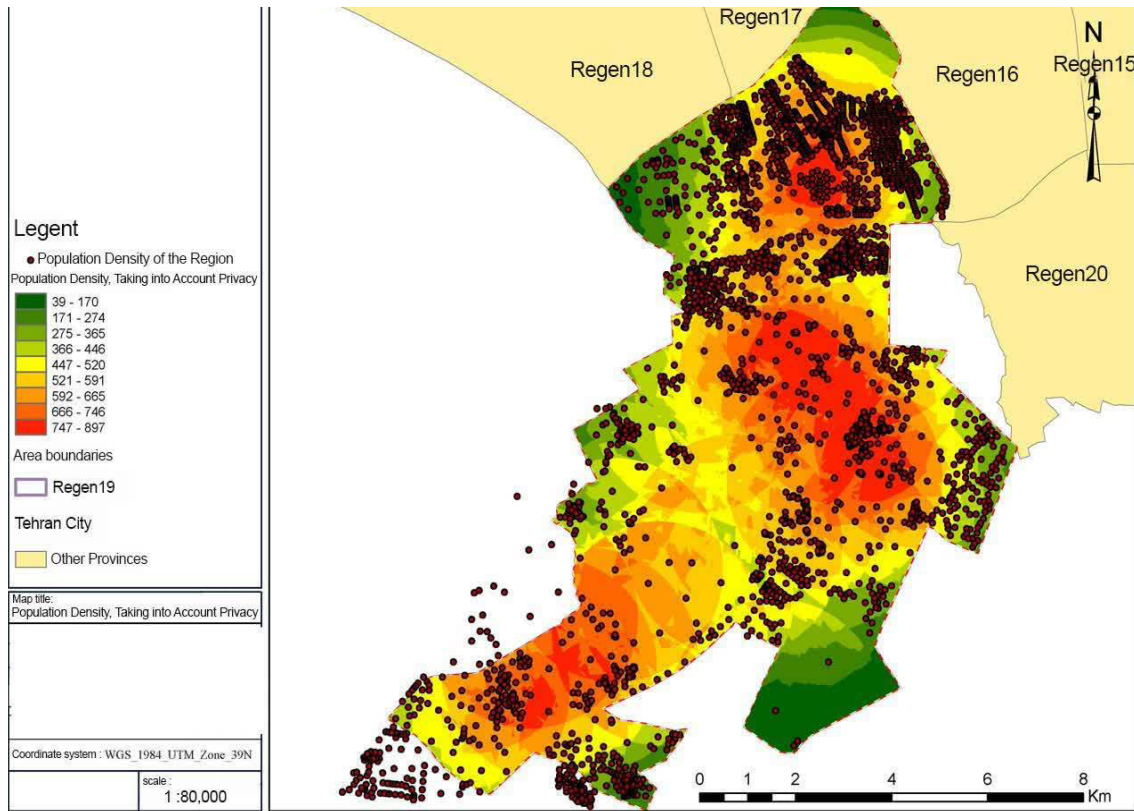


Figure 3. Map of population density in District 19, 2023

The questionnaire used had two parts. The first part surveyed general information about the respondents, and the second part, with 30 items, measured the study variables (Table 2). To measure the content validity of the questionnaire, the opinions of experts from the fire department

and the municipality, as well as university professors, were used. The reliability of the questionnaire was calculated using Cronbach's  $\alpha$  as Equation 1:

$$1. r_a = \frac{j}{j-1} \left( 1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right)$$

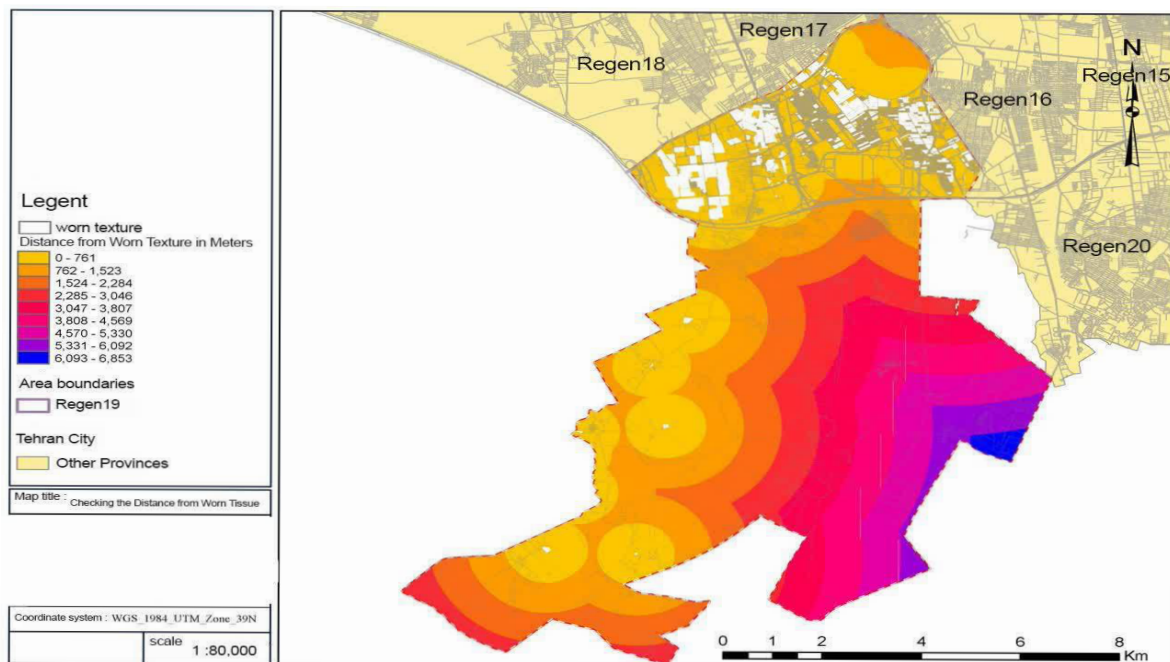


Figure 4. Map of dilapidated urban fabric in District 19, 2023

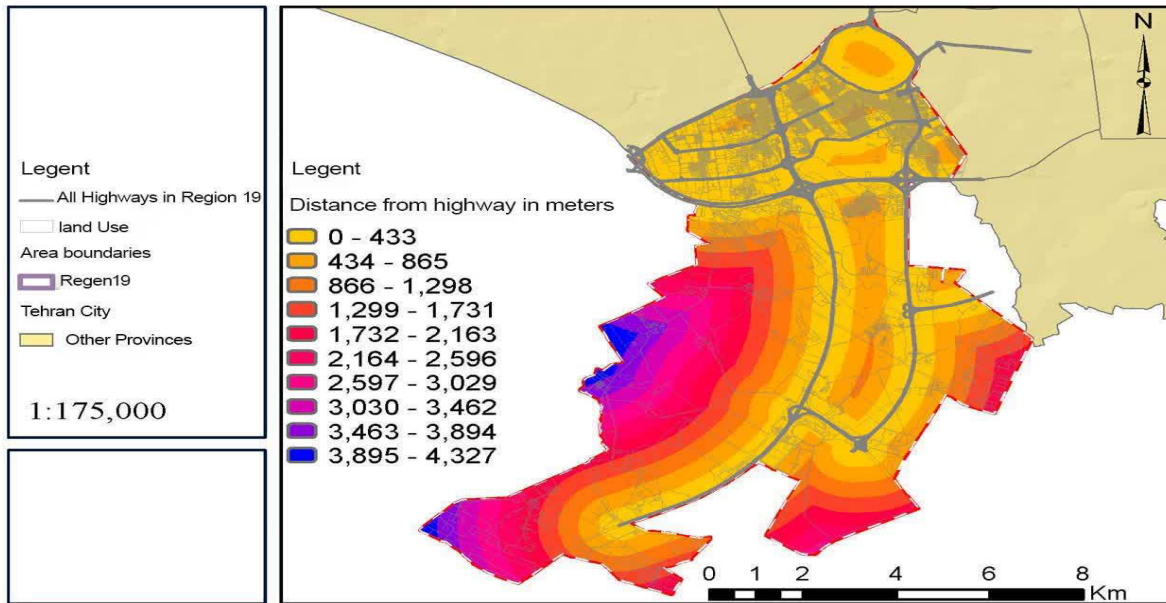


Figure 5. Geographical location of highways in District 19, 2023

Where  $j$  is the number of items,  $S^2_j$  is the  $j$ th item, and  $S^2$  is the variance of the total score. The results are presented in Table 3. Considering the Cronbach's  $\alpha$  values for each dimension and for the overall scale were greater than 0.7, it can be said that the questionnaire had acceptable reliability.

Statistical analyses were performed in SPSS software, version 24 and Excel software, version 2013. The descriptive statistics (mean and standard deviation), Kolmogorov-Smirnov test (to determine the normality of data distribution), and regression analysis were used. After data analysis, a conceptual model of the study was designed (Figures 7).

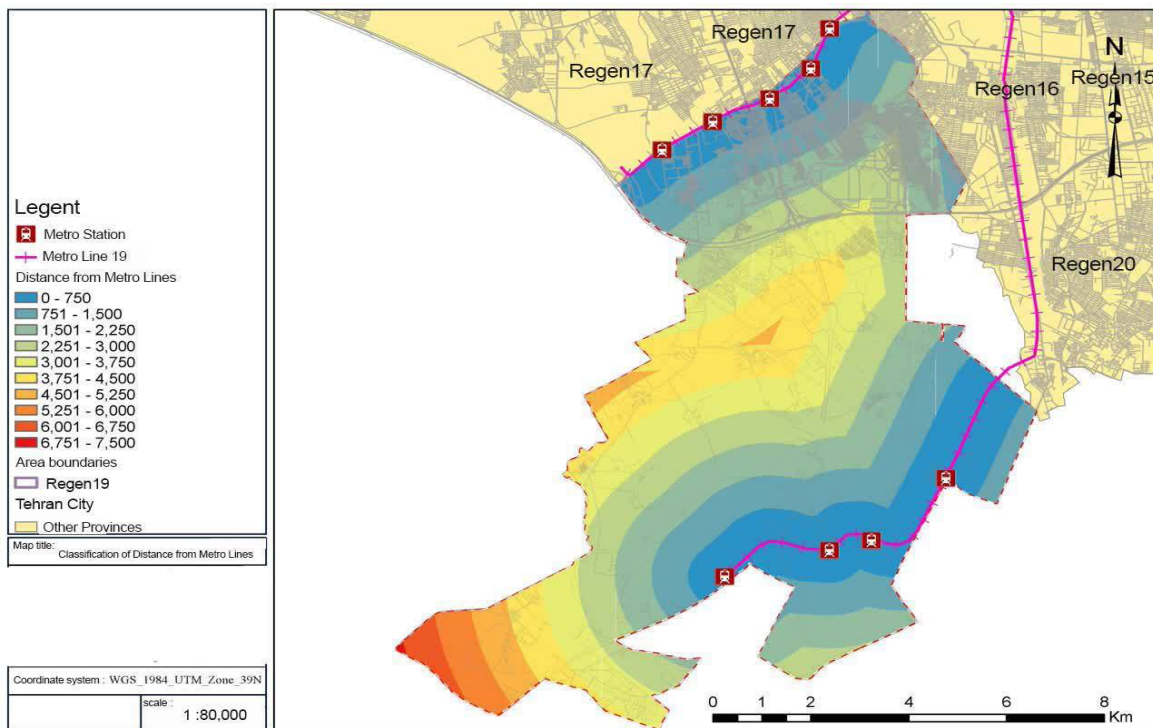


Figure 6. Geographical location of metro stations in District 19, 2023

**Table 1.** Specifications of fire stations in District 19 (Kheirdast et al., 2024)

No.	Station #	Number of Fire Trucks	Number of Personnel
1	22	8	39
2	35	7	24
3	96	4	24
4	81	5	33
5	50	10	38
6	123	3	15
7	132	7	33
8	133, and Rescue 6	7	54
Total		51	260

## Results

### Descriptive findings

Table 4 and Figures 8 and 9 show the frequency distribution of age and educational level for the participants. Table 5 and Figure 10 show the frequency distribution of work experience. The mean scores of the study variables are presented in Table 6.

The results of the Kolmogorov-Smirnov test presented in Table 7 and 8 showed that the distribution of data was normal ( $P > 0.05$ ). Therefore, it is possible to use parametric tests.

### Assessment of research hypotheses

The first hypothesis stated that dilapidated urban fabric affects the performance of dispatched forces and fire trucks in District 19. The results of ANOVA to predict the performance based on dilapidated urban fabric was

significant;  $F=94.325$ ,  $P<0.001$ ). The results in Table 10 indicate that the regression coefficient for the correlation between dilapidated urban fabric and performance of dispatched forces and fire trucks was  $-0.512$ . The coefficient of determination was  $0.262$  (Table 9, 10, 11). Therefore, the dilapidated urban fabric could predict 26.2% of the decline in the performance of dispatched forces and fire trucks. The linear regression formula is as Equation 2, where Y is the performance variable:

$$2. Y = 1.105 + 0.512 (\text{dilapidated urban fabric})$$

The second hypothesis stated that urban infrastructure problems affects the performance of dispatched forces and fire trucks in District 19. The results of ANOVA to predict the performance based on urban infrastructure problems was significant;  $F=87.215$ ,  $P<0.001$  (Table 12). The results in Table 13 and 14 indicate that the regression coefficient for the correlation between urban infrastructure problems and performance of dispatched forces and fire trucks was  $-0.487$ . The coefficient of determina-

**Table 2.** The dimensions and items of the questionnaire

Dimensions	Number of Items	
Urban space limitations in District 19	Dilapidated urban fabric	5
	Urban infrastructure problems	8
	Population growth	3
	Public transportation problems	4
Performance of dispatched forces and fire trucks in District 19	10	
Total	30	

**Table 3.** Cronbach’s  $\alpha$  values for the dimensions and items of the questionnaire

Variables	Number of Items	Cronbach’s $\alpha$
Dilapidated urban fabric	5	0.78
Urban infrastructure problems	8	0.79
Population growth	3	0.74
Public transportation	4	0.72
Urban space limitations	20	0.71
Performance of dispatched forces and fire trucks	10	0.75
Total	30	0.76

tion was 0.237. Therefore, urban infrastructure problems could predict 23.7% of the decline in the performance of dispatched forces and fire trucks. The linear regression formula is as Equation 3:

$$3. Y = 1.208 + 0.415 (\text{urban infrastructure problems})$$

The third hypothesis stated that population growth affects the performance of dispatched forces and fire trucks in District 19. The results of ANOVA to predict the performance based on population growth was significant;  $F = 75.254, P < 0.001$  (Table 15, 16). The results in Table 16 indicate that the regression coefficient for the correlation between population growth and performance of dispatched forces and fire trucks was -0.458. The coefficient of determination was 0.209. Therefore, population growth could predict 20.9% of the decline in the performance of dispatched forces and fire trucks. The linear regression formula is as Equation 4:

$$4. Y = 1.412 + 0.642 (\text{population growth})$$

The last hypothesis stated that public transportation problems affects the performance of dispatched forces

and fire trucks in District 19. The results of ANOVA to predict the performance based on public transportation problems was significant;  $F = 41.145, P < 0.001$  (Table 17, 18). The results in Table 19 indicate that the regression coefficient for the correlation between public transportation problems and performance of dispatched forces and fire trucks was -0.325. The coefficient of determination was 0.105 (Table 17). Therefore, public transportation problems could predict 10.5% of the decline in the performance of dispatched forces and fire trucks. The linear regression formula is as Equation 5:

$$5. Y = 1.012 + 0.308 (\text{public transportation problems})$$

### Discussion

The purpose of this study was to investigate the effect of urban space limitations on the performance of firefighters and fire trucks during a disaster in District 19 of Tehran city. The most of experts participated in our study was individuals with an average age of 31-40 years (47.2%) with a bachelor’s degree (41.6%), and 6-10 years of experience (55.2%). The performance score of firefighters was  $75.18 \pm 7.30$ . The results

**Table 4.** Age and educational level of the participants

Variables	No. (%)	
Age	41-50 years	21(16.8)
	31-40 years	59(47.2)
	<30 years	45(36)
Educational level	Master’s degree	34(27.2)
	Bachelor’s degree	52(41.6)
	Associate degree	39(31.2)

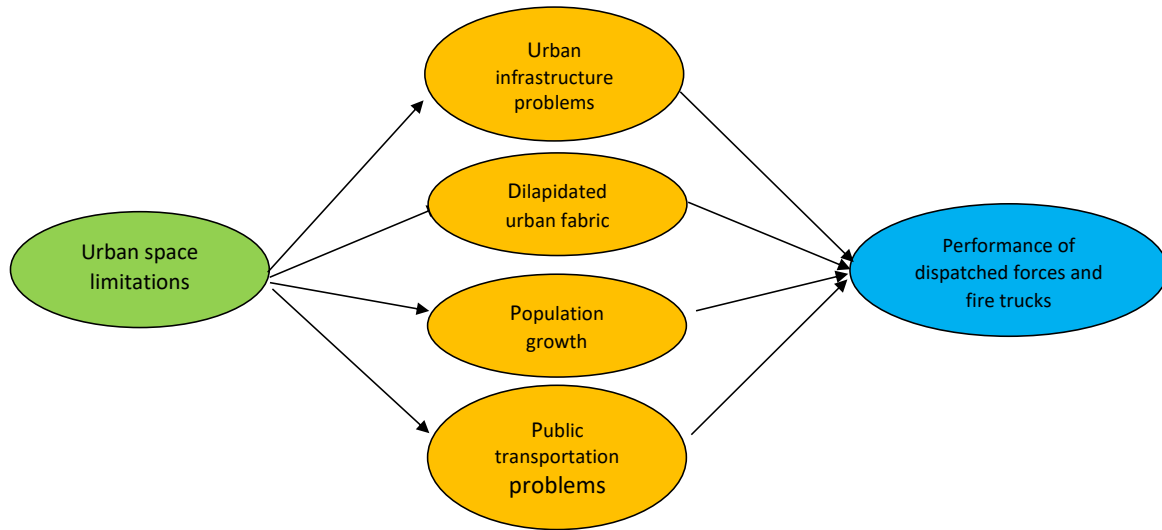


Figure 7. Conceptual model of the study

Table 5. Work experience of the participants

	Variables	No. (%)
Work experience (y)	<5	12(9.6)
	6-10	69(55.22)
	11-15	25(20)
	16-20	11(8)
	>20	8(6.4)

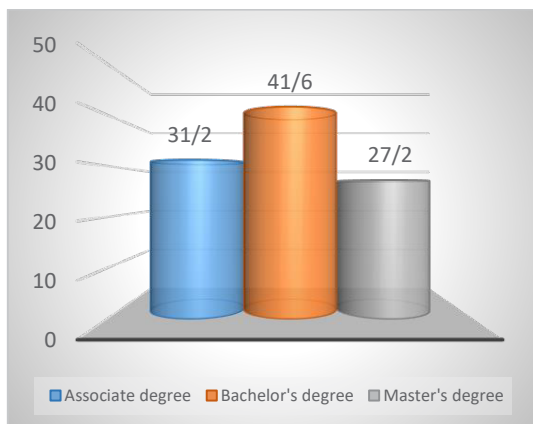


Figure 8. Distribution of educational level among the participants

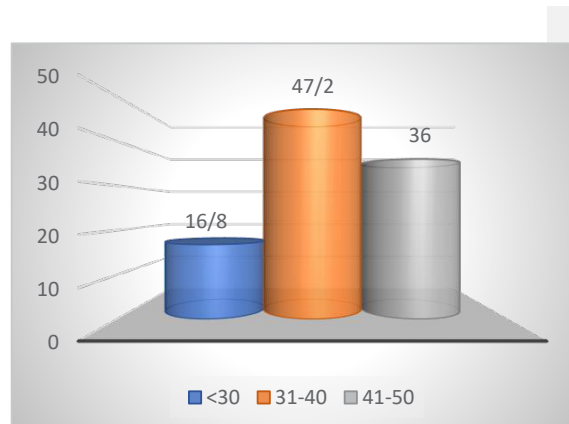
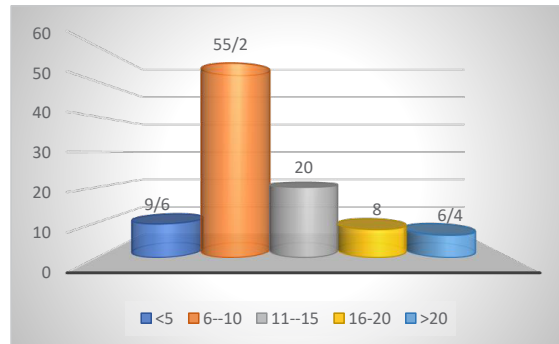


Figure 9. Distribution of age among the participants



**Figure 10.** Distribution of work experience among the participants

**Table 6.** Mean scores of the study variables

Variables	Mean±SD	
Urban space limitations in District 19	Dilapidated urban fabric	9.62±2.12
	Urban infrastructure problems	17.70±3.58
	Population growth	10.41±2.56
	Public transportation problems	6.50±1.65
Performance of dispatched forces and fire trucks in District 19	75.18±7.30	

**Table 7.** Results of the Kolmogorov-Smirnov test

Variables	z	sig	Result	
Urban space limitations in District 19	Dilapidated urban fabric	1.136	0.151	Normal
	Urban infrastructure problems	1.051	0.219	Normal
	Population growth	1.232	0.096	Normal
	Public transportation problems	1.125	0.074	Normal
Performance of dispatched forces and fire trucks in District 19		0.055	Normal	

**Table 8.** Model summary (Dependent variable: Dilapidated urban fabric)

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Standard Error
1	-0.512	26.2	0.389	0.621

**Table 9.** ANOVA results (dependent variable: Dilapidated urban fabric)

Model	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression 1	55.36	1	.5536		
Residual	72.201	123	0.587	94.325	0.001
Total	127.561	124			

**Table 10.** Results of regression analysis (dependent variable: Dilapidated urban fabric)

Model	Title	B	Standard Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	1.105	0.354		8.120	0.001
2	Dilapidated urban fabric	0.512	0.087	512/0-	11.365	0.001

**Table 11.** Model summary (Dependent variable: Urban infrastructure problems)

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Standard Error
1	-0.487	7.23	0.301	0.351

**Table 12.** ANOVA results (dependent variable: Urban infrastructure problems)

Variables	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression 1	36.19	1	36.19		
Residual	51.045	123	0.415	87.21	0.001
Total	87.235	124			

showed that dilapidated urban fabric, urban infrastructure problems, population growth, and public transportation problems predicted 26.2%, 23.7%, 20.9%, and 10.5% of the decline in the performance of firefighters and fire trucks, respectively. These limitations result in the failure to create the necessary conditions to improve the performance of dispatched firefighting forces and trucks in disaster situations, since they can reduce the freedom of action and maneuverability of forces and vehicles. Dilapidated structures and traffic can prevent fire trucks from fully accessing affected areas.

### Conclusion

Urban space limitations in District 19 of Tehran, including dilapidated urban fabric, urban infrastructure

problems, population growth, and public transportation problems, can negatively affect the performance of firefighting forces and vehicles. Urban infrastructure problems can prevent them from properly implementing their activities and plans and using their full potential and capacity. The presence of large crowds in the disaster scene can cause disruptions in the firefighting operations. Population growth and population density in some areas of District 19 and the lack of a proper safety culture when seeing fire trucks create a great disruption in the progress of operations and the early arrival of forces. The traffic congestion in some areas of District 19 and the increase in transportation vehicles are also considered obstacles in the firefighters' ability to reach the fire scene.

**Table 13.** Results of regression analysis (dependent variable: Urban infrastructure problems)

Model	Title	B	Standard Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	1.208	0.489		1.120	0.001
2	Urban infrastructure problems	0.415	0.06	-0.487	2.365	0.001

**Table 14.** Model summary (Dependent variable: Population growth)

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Standard Error
1	-0.458	20.9	0.238	0.310

**Table 15.** ANOVA results (dependent variable: Population growth)

Variables	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression 1	97.22	1	97.22		
Residual	95.202	123	0.774	75.254	0.001
Total	192.422	124			

**Table 16.** Results of regression analysis (dependent variable: Population growth)

Model	Title	B	Standard Error	Beta	t	Sig
1	(Constant)	1.412	0.415		7.541	0.001
2	Population growth	0.642	0.048	-0.458	9.630	0.001

The results of the present study are consistent with the results of [Stolf et al. \(2019\)](#) regarding the access of firefighters to the incident area, while are not in agreement with the results of [Shatkin \(2019\)](#) on the adaptation of urban space to natural disasters, since in the area studied in our study, urban spaces do not perform well during natural disasters such as fires. Our results are consistent with the results of [Padash and Kheirdast \(2023\)](#) regarding the importance of the ability of firefighters to reach the fire scene. The results of the present study are also in line with the results of [Bujang et al \(2023\)](#), [Maddab et al \(2023\)](#), [Raheb and Farhadian \(2023\)](#), [Tahmasebi et al. \(2020\)](#), and [Li et al \(2024\)](#).

Considering the results, the following recommendations are provided to improve the performance of firefighting forces and vehicles in District 19 of Tehran:

It is recommended to apply urban design standards to dilapidated structures or demolish them to improve the performance of firefighting forces and vehicles.

By creating databases of the urban infrastructure problems and limitations in District 19, increase the awareness of possible problems and how to deal with them at the time of disaster.

**Table 17.** Model summary (dependent variable: Public transportation problems)

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Standard Error
1	-0.325	10.5	0.109	0.184

**Table 18.** ANOVA results (Dependent variable: Public transportation problems)

Variables	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression 1	36.02	1	36.02		
Residual	107.502	123	0.874	41.145	0.001
Total	143.522	124	-		

**Table 19.** Results of regression analysis (Dependent variable: Public transportation problems)

Model	Title	B	Standard Error	Beta	t	Sig
1	(Constant)	1.012	539		1.498	0.001
	Public transportation problems	0.308	087	-0.325	3.025	0.001



Culturalization through mass media to reduce gatherings in the affected areas and management and control of the population density are recommended to improve the performance of firefighting forces and vehicles.

By creating transportation mechanisms to manage traffic during a disaster and using control facilities at regional levels, the performance of firefighting forces and vehicles can be improved.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

In this study, all ethical principles were observed. Since no experiments on animal or human samples were conducted, no ethical code was obtained.

### Funding

This research is based on Mehdi Mahdavi's master's thesis. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Authors' contributions

Methodology and conclusions: Mahdi Mahdavi and Afrasyab Kheirdast i; Data analysis, genealogical method and research background: Saeed Ajuorloo.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgements

We thank all our colleagues who helped us in this research.



## مقاله پژوهشی

## بررسی رابطه محدودیت‌های فضای شهری با عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران شهر تهران

\*افراسیاب خیردست<sup>۱، ۲</sup>، مهدی مهدوی<sup>۳</sup>، سعید آجورلو<sup>۴، ۵</sup>

۱. گروه مدیریت محیط‌زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. مدیر آموزش منطقه ۸ عملیات، سازمان آتش‌نشانی تهران، تهران، ایران.

۳. گروه مدیریت بحران، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴. فرمانده حریق منطقه ۸ عملیات، سازمان آتش‌نشانی تهران، تهران، ایران.

۵. فرمانده نجات منطقه ۸ عملیات، سازمان آتش‌نشانی تهران، تهران، ایران.



Use your device to scan and read the article online



**Citation** Kheirdast, A., Mahdavi, M., & Ajourloo, S. (2026). Effects of Urban Space Limitations on the Performance of Firefighting Forces and Vehicles During a Disaster in Tehran, District 19. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(4):544-573. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.4.821.1>

**doi** <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.4.821.1>

## حکیده

**زمینه و هدف:** در راستای کاهش خطرات ناشی از آتش‌سوزی برای شهروندان، تحلیل محدودیت‌های فضا-زمان برای آتش‌نشانی، ضروری است. در منطقه ۱۹ الگوهای فضایی-زمانی آتش‌سوزی بسته به زمان، مکان و علل آن‌ها متفاوت است. هدف پژوهش بررسی تأثیر محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه ۱۹ تهران است. با توجه به سد معبرهای صورت‌گرفته و ساختار غلط طراحی‌های شهری و عدم نظارت مسئولین به ترافیک شهری، اهمیت پرداختن به چالش‌های اعزام آتش‌نشانی به علت محدودیت فضای شهری ضروری است.

**روش:** روش پژوهش از نوع توصیفی همبستگی است. جامعه آماری شامل پرسنل عملیاتی ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه ۱۹ تهران به تعداد ۲۱۰ نفر، به صورت نمونه‌گیری تصادفی و با تعیین حجم نمونه از طریق جدول مورگان ۱۳۲ نفر مشخص شده است. ابزار پژوهش پرسش‌نامه‌ای با ۳۰ گویه بوده است که روایی محتوایی آن، توسط خبرگان آتش‌نشانی مورد تأیید قرار گرفت. پایایی پرسش‌نامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۴۰ و آلفای کرونباخ ۰/۷۶ به دست آمد. از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و رگرسیون جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها و تعیین رابطه میان متغیرها استفاده گردید. در منطقه مورد مطالعه درباره محدودیت‌ها و مشکلات فضای شهری جهت اعزام نیروهای آتش‌نشانی پژوهش‌هایی انجام نشده است، لذا از این منظر دارای نوآوری است. فرض پژوهش این است که محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه تأثیر معناداری دارد. سؤال پژوهش این است که «آیا محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه ۱۹ شهر تهران تأثیر دارد؟»

**یافته‌ها:** مطابق نتایج، ضریب همبستگی بافت‌های فرسوده، زیرساخت‌های شهری، رشد جمعیت و حمل‌ونقل نسبت به عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۴۸، ۰/۴۵ و ۰/۳۲- یعنی در جهت عکس است. متغیر بافت‌های فرسوده ۲۶/۲ درصد، زیرساخت‌های شهری ۲۳/۷ درصد، رشد جمعیت ۲۰/۹ درصد و حمل‌ونقل عمومی ۱۰/۵ درصد از متغیر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی را در جهت معکوس پیش‌بینی می‌کند.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان داد محدودیت‌های فضای شهری شامل محدودیت‌های بافت فرسوده، زیرساخت‌های شهری، رشد جمعیت و حمل‌ونقل عمومی بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران تأثیر معناداری دارد. همچنین محدودیت‌های فضای شهری سبب کاهش عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران شده است.

**کلیدواژه‌ها:** آتش‌نشانی، بحران، فضای شهری، تهران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۰۹ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۶ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۹ مهر ۱۴۰۴

\* نویسنده مسئول:

دکتر افراسیاب خیردست

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه مدیریت محیط‌زیست.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۵۴۶۷۰۸۴

پست الکترونیکی: a.kheirdast@gmail.com



Copyright © 2026 The Author(s);

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



## مقدمه

بحران، سعی در پاسخ به این سؤال دارد که «آیا محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه مورد مطالعه تأثیر دارد؟»

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در بحث مدیریت بحران، فضای شهری نقش مهم و اساسی دارند. معماران و طراحان شهری با رویکردهای ویژه‌ای در مدیریت بحران و در بحث فضاهای باز و بسته تمهیدات خاصی را اندیشیده‌اند. سیاست‌ها و اصول شهرسازی حاکم بر فضاهای شهری یکی از مسائل مهم در جهت بهبود مدیریت بحران است. به عبارتی، استفاده از ابزارهای خاص جهت طراحی فضای شهری به‌عنوان یکی از مسائل مهم در جهت بهبود مدیریت بحران است. از طرفی فقدان بررسی‌های علمی در خصوص تأثیر برخی محدودیت‌های ایجادشده فضای شهری بر عملکرد آتش‌نشانی در شرایط بحران سبب گردیده است تا شواهد علمی کافی از تأثیرات واقعی محدودیت‌های فضای شهری در این حوزه در دسترس نباشد. آنچه موجودیت منطقه مورد مطالعه را تهدید می‌کند، شامل بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت است، به طوری که تناسب لازم میان سطح فضای ساخته‌شده، تراکم ساختمانی و فضای باز قابل استفاده در مواقع بحران وجود ندارد.

مدیریت فضاهای شهری و چیدمان مناسب این فضاها سبب خواهد شد بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی به‌صورت مناسب‌تری مدیریت گردد (کالوت و مارس، ۲۰۱۹). دسترسی آتش‌نشانیان به محیط حادثه یکی از مسائل مهم در مدیریت بحران‌ها در فضاهای شهری است (استلف و همکاران، ۲۰۱۹). وجود بحران‌های طبیعی باعث سازگاری فضاهای شهری با شرایط موجود شده است. از این‌رو فضاهای شهری مطابق با وضعیت بحران می‌بایستی سازگار گردد (شاتکین، ۲۰۱۹).

آموزش، عملکرد مردم را در برابر بحران بهبود می‌بخشد. ایجاد تغییر عکس‌العمل انسان در برابر زلزله با گذشت زمان، تأییدی بر لزوم آمادگی هر شهروند در برابر زلزله بوده و مشخص می‌سازد برنامه‌ریزی منطقی، پیشگیری و آموزش می‌تواند از پشیمانی‌های بعدی جلوگیری نماید (آجورلو و همکاران، ۱۴۰۲). ایستگاه‌های آتش‌نشانی با توجه به اهمیت روزافزون به ارائه خدمات ایمنی و تمهیدات پیشگیری و مقابله با حوادث آتش‌سوزی و مدیریت بحران در شهرها از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند. بدون شک خدمات‌رسانی به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیش از هر چیز ضمن لزوم استقرار آن‌ها در مکان‌های مناسب محیط‌های شهری، نیازمند داشتن توانمندی‌ها و تجهیزات لازم برای پاسخ‌گویی به نیازمندی شهروندان می‌باشد (پاداش و خیردست، ۱۴۰۲). برای رسیدگی به فواصل ناکافی جداسازی آتش در ساختمان‌های تاریخی و فرسوده که به گسترش آتش منجر می‌شود، تحقیقات

امروزه عملکرد آتش‌نشانیان در اطفای حریق شهری، به‌عنوان یکی از مسائل مهم در سازمان آتش‌نشانی است. بهبود و ارتقای عملکرد آتش‌نشانیان به‌عنوان یکی از نیازهای مهم جوامع شهری سبب شده است تلاش‌های گسترده‌ای در این خصوص ایجاد گردد. این مسئله سبب شده است قابلیت اطمینان در عملیات به‌عنوان یکی از اهداف مهم و کلیدی سازمان آتش‌نشانی مشخص گردد. در جهت بهبود عملکرد آتش‌نشانیان با توجه به کمبود فضای عملیاتی در برخی از نواحی منطقه ۱۹ نیاز است جنبه‌های تأثیرگذار بر عملکرد مورد بررسی و کنکاش قرار گیرد.

یکی از مشاغل مهم و کلیدی در جوامع امروزی، آتش‌نشانی است که عملکرد مناسب و بهینه آنان، ارتباط نزدیکی با حفظ جان و مال مردم دارد. امروزه اهمیت فعالیت‌های آتش‌نشانی باعث ارتقای عملکرد آنان شده است. از طرفی ایجاد بستر مناسب جهت بهبود عملکرد ابزار و تجهیزات آتش‌نشانی نیز یکی از شاخص‌های مهم در جهت ارتقای عملکرد آتش‌نشانیان شده است. عدم همراهی امکانات و تجهیزات آتش‌نشانیان در زمان بروز حوادث می‌تواند ضربات جبران‌ناپذیری بر عملکردشان وارد کند. این مسئله سبب شده است ایجاد بستری مناسب جهت فعالیت در زمان بروز حوادث برای آتش‌نشانیان و امکانات و تجهیزات آنان، به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مدیران باشد.

یکی از محدودیت‌های فعلی در جهت ارتقای عملکرد آتش‌نشانیان، محدودیت‌های فضای شهری است. چیدمان نامناسب فضای شهری در برخی محیط‌ها سبب شده است در زمان بروز حوادث، مشکلات و محدودیت‌های بسیاری جهت عملکرد آنان ایجاد کند. از طرفی به‌علت اینکه حوادث رخ داده‌شده عینی و به یک‌باره است، این محدودیت‌ها به‌عنوان مشکلات مهم و تأثیرگذار به‌صورت کلی روند فعالیت آتش‌نشانیان را تحت شعاع قرار داده است. بلایای طبیعی جزء جدانشده زندگی بشر است و در طول تاریخ تلاش‌های فراوانی برای مقابله با این حوادث به عمل آمده است.

عدم به‌کارگیری مقررات ایمنی در طراحی شهری با در نظر گرفتن مانور خودروهای ویژه آتش‌نشانی مانند نردبان، بالابر و جرثقیل ضرورت بررسی محدودیت‌های فضای شهری را دوچندان می‌کند. در جهت فعالیت ارکان‌های مختلف مدیریت بحران، به وجود زیرساخت‌های فضایی در منطقه نیاز است. این مسئله سبب شده عملکرد برخی گروه‌ها از جمله نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی بهبود یابد. به عبارتی، نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی جهت ارتقای عملکرد خود نیازمند برخورداری از برخی شرایط در فضای شهری هستند. با توجه به ویژگی‌های منطقه ۱۹ و وجود پتانسیل‌های بحران در این منطقه، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط



عملی با استفاده از شبیه ساز دینامیک آتش<sup>۱</sup> (FDS) انجام شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴).

بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، در یکی از کشورهای اروپایی حدوداً ۸۹۶ بار با سامانه الکترونیکی آتش‌نشانی تماس حاصل شد. کمترین میانگین زمان مداخله  $37.47 \pm$  دقیقه بود و در سال ۲۰۲۱ ثبت شد. در تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای زمان مداخله و عوامل شرطی‌کننده استفاده از سیستم تماس اضطراری<sup>۲</sup> (eCall)، نشان داده شد این زمان به‌طور معنی‌داری از نظر آماری به تعداد خودروهای درگیر در آن وابسته است (کویاک و همکاران، ۲۰۲۴). هشدار زود هنگام آتش‌سوزی برای جلوگیری از خسارات اقتصادی قابل توجه و آسیب‌های زیست‌محیطی بسیار مهم است. با این حال، بهبود عملکرد تعمیرمدل آتش‌سوزی به دلیل محدودیت‌های موجود در مجموعه داده‌های آتش‌سوزی، مانند کمیت تصویر و ناهمگونی، با چالش‌هایی مواجه است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴).

آتش‌سوزی‌ها می‌توانند به خسارات جانی و مالی قابل توجهی در فضاهای شهری منجر شوند که اساس افزایش میزان آتش‌سوزی به میزان وزش باد در شهر می‌تواند تأثیرگذار باشد (استریدوم و اسویج، ۲۰۲۴). جهت رسیدن به محل حریق یا حادثه باتوجه به فضای شهری می‌توان از الگوریتم فرایبتکاری (PSO<sup>۳</sup>) و الگوریتم ژنتیک (GA<sup>۴</sup>) و برای محاسبه مدت زمان پاسخ به حادثه با کمترین زمان ممکن، بر مبنای استاندارد انجمن ملی حفاظت از آتش<sup>۵</sup> (NFPA1720) عمل نمود (خیردست و همکاران، ۲۰۲۴). در رابطه با فرآیند مدیریت اضطراری باتوجه به محدودیت‌های فضای شهری، تخمین زمان پاسخ‌گویی نقش بسیار مهمی دارد. زمان پاسخ‌گویی، زمان مورد نیاز اضطراری به‌ویژه برای آتش‌نشانی جهت رسیدن به نقطه حادثه‌خیز پس از دریافت اطلاعات حادثه است. استفاده از پارامترهای مناسب شهری نقش مهمی در اجرای موفقیت‌آمیز واکنش اضطراری دارد (بوجانگ و همکاران، ۲۰۲۳). ارزیابی مدیریت خطر آتش‌سوزی باتوجه به محدودیت‌های فضای شهری از دیدگاه‌های اجتماعی-اقتصادی، برنامه‌ریزی چشم‌انداز و مدیریت ریسک در هر کشوری قابل اجرا است (گلکتین و همکاران، ۲۰۲۴).

در سال‌های اخیر، رویکرد سنتی مدیریت مخاطرات در فضای شهری از تمرکز صرف بر کاهش آسیب‌پذیری و کاهش ریسک، به افزایش تاب‌آوری تغییر یافته است. این رویکرد جدید ظرفیت بهتری را برای مواجهه با مخاطرات در فضاهای شهری ایجاد کرده است (مؤدب و امینی حسینی، ۱۴۰۲). مدیریت و برنامه‌ریزی

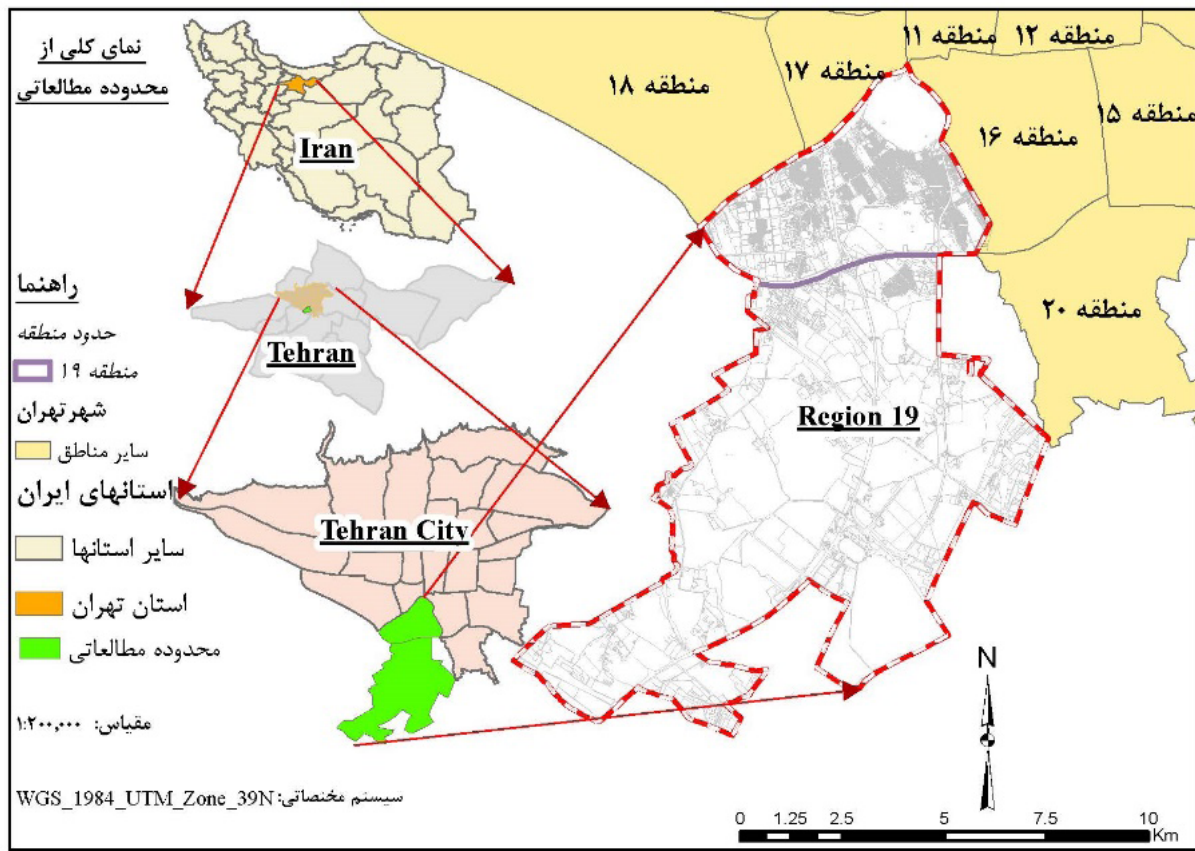
1. Fire Dynamics Simulator (FDS)
2. Emergency Call (eCall)
3. Standard Operating Procedures (SOP)
4. Standard Operating General (SOG)
5. National Fire Protection Association (NFPA1720)

شهری ابزار مناسبی جهت پاسخگویی به چالش‌های جامعه شهری به‌خصوص پیشگیری از وقوع بحران به حساب می‌آید (حاجی بابایی و همکاران، ۱۳۹۳). با گذر زمان در جوامع کنونی، بر سرعت تغییرات افزوده می‌گردد و محدودیت فضای شهری، در نزاع مابین تجدد و سنت، تغییر یافته است (عاشوری چهارده و عزیزی، ۱۴۰۲).

افزایش وسعت، جمعیت و عناصر فضایی و ساختار شهرها باعث پیچیدگی‌های کالبدی-فضایی در شهرها شده است، به‌طوری‌که درک روابط شهری و شناخت ساختار و استخوان‌بندی اصلی شهرها و ریخت‌شناسی آن‌ها بر اساس تحلیل تمام اجزای شهر به‌سختی امکان‌پذیر است. تحلیل ساختار فضایی شهرها به روش‌هایی نیاز دارد که بتواند به این پیچیدگی‌ها پاسخ دهد (راهب و فرهادیان، ۱۴۰۲). باتوجه به رشد روزافزون شهرها، افزایش جمعیت و تراکم شدن بافت شهری، لازم است کاربری‌های شهری اضطراری از قبیل آتش‌نشانی به‌طور بهینه تعیین موقعیت شوند تا به‌خوبی و به‌سرعت بتوانند پاسخگویی تقاضاها باشند. این مسئله از آن جهت حائز اهمیت است که این تسهیلات برای خدمات‌رسانی امدادی ایجاد می‌شوند، پس باید به‌خوبی بتوانند تمام ناحیه تقاضا را پوشش دهند (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۹).

در دنیای امروز، بحران مکان به مفهوم بحران اجتماعی از فضا و زمان، از بزرگ‌ترین مشکلات شهرسازی دنیا است (نونژاد و همکاران، ۱۳۹۹). حوادث و سوانح طبیعی و غیرطبیعی روی داده در سالیان اخیر بیانگر این موضوع است که سازمان‌ها به‌صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیر شده‌اند و ریسک‌های ناشی از حریق و حوادث نیز افزایش یافته‌اند. نگاه مدیریت شهری در سوانح طبیعی و غیرطبیعی، رویکرد کاهش مخاطرات و آسیب‌پذیری بوده است (خدابنده‌لو و همکاران، ۱۴۰۳). در حال حاضر تقریباً هر شهر دارای تعداد زیادی خیابان تجاری است که به دلیل عرض کم و فضای محدود در خیابان‌ها می‌توانند دره‌های خیابانی را تشکیل دهند. هنگامی که آتش‌سوزی در یک طرف ساختمان رخ می‌دهد، ممکن است بر ساختمان‌های طرف دیگر خیابان تأثیر بگذارد (دونگ و همکاران، ۲۰۲۴).

فضاهای محدود و باریک، در حالی که تحرک و زندگی روزمره ساکنان شهری و روستایی را تسهیل می‌کند، نگرانی‌های ایمنی آتش‌سوزی را نیز به همراه دارد. پدیده‌های فاجعه‌بار احتراق در چنین فضاهایی می‌تواند به تلفات جانی و خسارات مالی قابل توجهی منجر شود (وانگ‌زه و همکاران، ۲۰۲۴). آتش‌سوزی در فضاهای محدود، مشکلات کوچکی مانند اطفای سخت، سرعت سوختن بالا، مدت زمان طولانی، عدم دسترسی مناسب به کانون حریق دارد (ژو و همکاران، ۲۰۲۴). فضاهای محدود به دلیل عدم دسترسی مناسب به حریق، ترافیک، ازدحام جمعیت، تهویه ضعیف و وجود گازهای سمی بالقوه خطرات قابل توجهی را برای آتش‌نشانی به همراه دارد (آکانو و همکاران، ۲۰۲۴).



تصویر ۱. محدوده منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

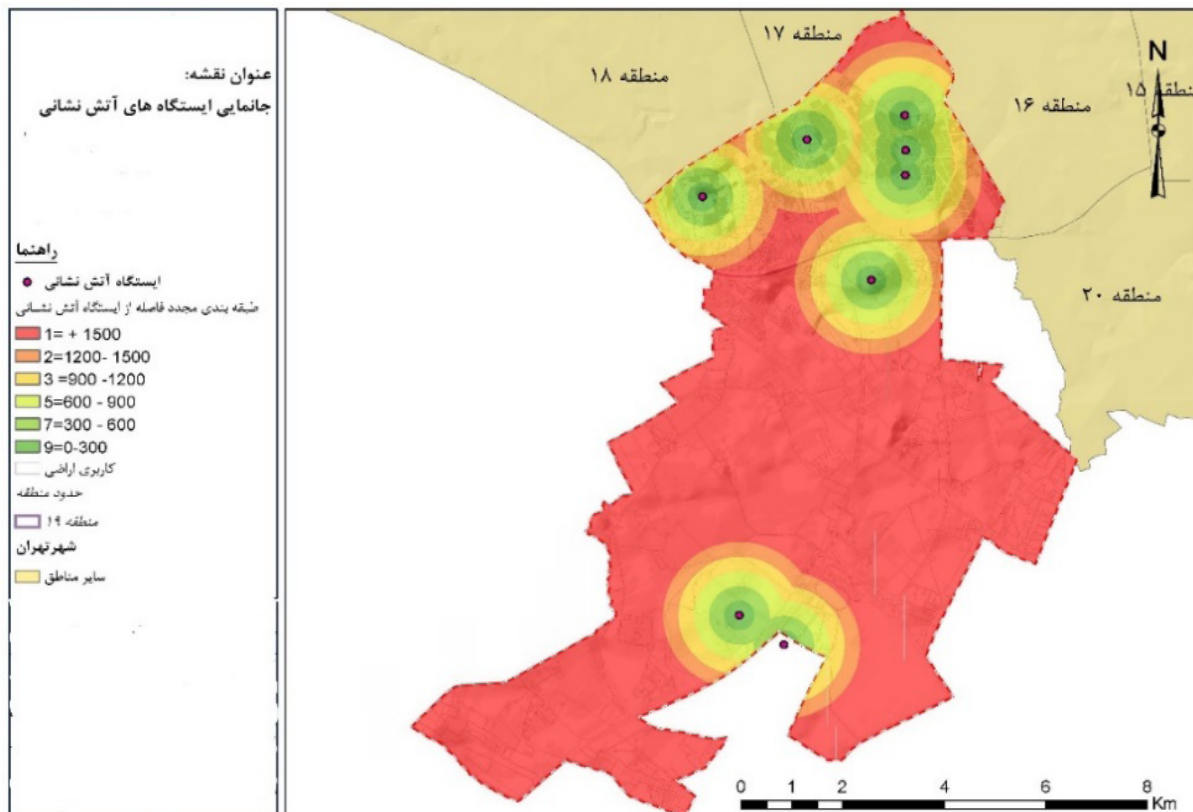
## معرفی منطقه مورد مطالعه

(۱، ۲ و ۳) در حوزه بافت شهری است و در شمال بزرگراه آزادگان قرار دارند. نواحی ۴ و ۵ خارج از محدوده قانونی شهر تهران قرار دارند و جزء حریم منطقه ۱۹ به حساب می آیند. ناحیه ۴ دارای ۱۳ روستا و ناحیه ۵ نیز دارای ۱۳ روستا است. تصویر شماره ۱ موقعیت و محدوده منطقه ۱۹ را نشان می دهد (خیردست و همکاران، ۱۴۰۲).

منطقه ۱۹ در منتهی الیه جنوبی شهر تهران و در موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ}28'00''$  شمالی و  $51^{\circ}36'27''$  جنوبی واقع شده است و در مجاورت مناطق ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ است. این منطقه با وسعتی برابر ۹۲ کیلومتر مربع، دارای ۵ ناحیه است؛ سه ناحیه

جدول ۱. مشخصات ایستگاههای آتش نشانی تحت پوشش

ردیف	شماره ایستگاه	تعداد خودروی عملیاتی (دستگاه)	تعداد پرسنل (نفر)
۱	۲۲	۸	۳۹
۲	۳۵	۷	۲۴
۳	۹۶	۴	۲۴
۴	۸۱	۵	۳۳
۵	۵۰	۱۰	۲۸
۶	۱۲۳	۳	۱۵
۷	۱۳۲	۷	۳۳
۸	۱۳۳ و نجات ۶	۷	۵۴
مجموع	۸	۵۱	۲۶۰



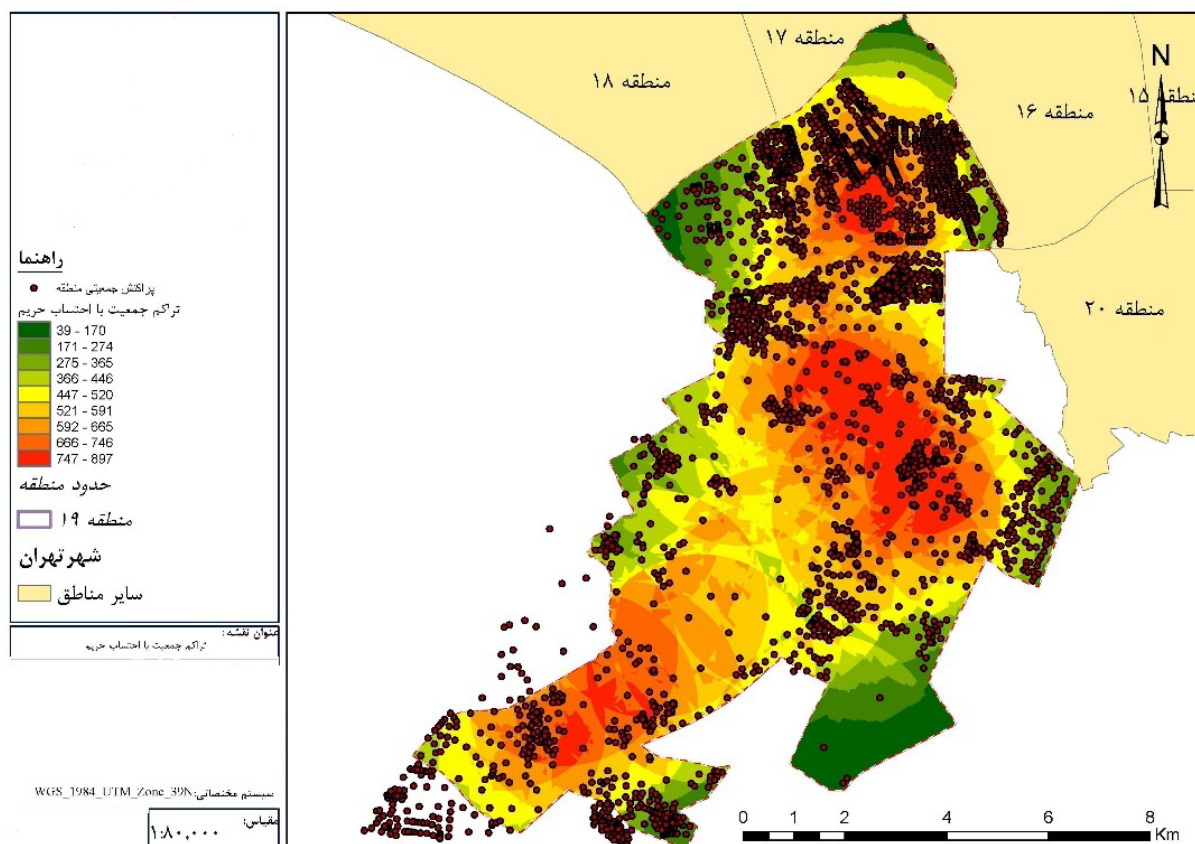
تصویر ۲. موقعیت مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

تراکم جمعیتی در واحد سطح است که با تعداد نفر در هر کیلومترمربع بیان می‌گردد. هرچه تراکم جمعیت در نواحی کمتر باشد، تراکم متعادل‌تر خواهد بود. تراکم‌های جمعیتی زیاد در منطقه باعث ایجاد اختلال در عملکرد نیروهای آتش‌نشانی خواهد شد. باتوجه به فرهنگ منطقه و تجارب به‌دست‌آمده در این زمینه در هنگام آتش‌سوزی و بروز حادثه مردم به‌جای خلوت نمودن محدوده عملیاتی، با ازدحام و شلوغی خود باعث اختلال عملکردی نیروهای اعزامی می‌شوند.

در منطقه ۱۹ تهران ۸ ایستگاه آتش‌نشانی اعم از حریق، نجات و پشتیبانی وجود دارد که ۳ ایستگاه خارج از محدوده می‌باشند (تصویر شماره ۲). تعداد نیروها و خودروهای عملیاتی طبق جدول شماره ۱ در منطقه مشخص شده است. باتوجه به وسعت و جمعیت منطقه، ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در منطقه ۱۹ یا نیروهای آتش‌نشان مستقر در ایستگاه‌های منطقه، در هنگام بحران نمی‌توانند عملکرد بهینه داشته باشند (خیردست و همکاران، ۱۴۰۳).

جدول ۲. فراوانی سؤالات پرسش‌نامه

مفهوم	بعد	تعداد سؤال
محدودیت‌های فضای شهری در منطقه ۱۹ تهران	بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹	۵
	زیرساخت‌های شهری منطقه ۱۹	۸
	رشد جمعیت در منطقه ۱۹	۳
	حمل‌ونقل عمومی در محدوده منطقه ۱۹	۴
عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی در ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه ۱۹		۱۰
	مجموع	۳۰



تصویر ۴. موقعیت تراکم جمعیتی جهت بررسی شاخص رشد جمعیت در منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

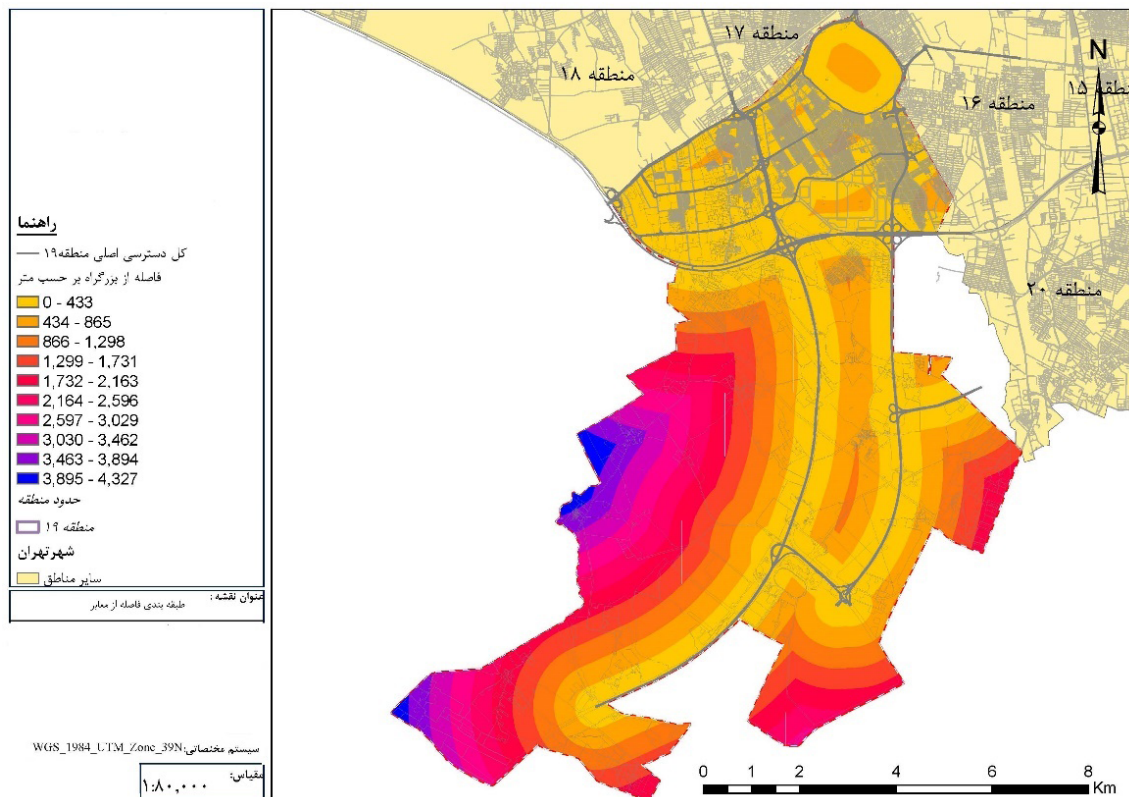
همچنین شاهراه‌های بزرگراهی از مله بزرگراه آزادگان، بزرگراه آیت‌الله سعیدی، بزرگراه تندگویان و بزرگراه کاظمی، منطقه را از لحاظ عبورمورور در موقعیتی پراهمیتی قرار داده است (پورتال شهرداری منطقه ۱۹ شهر تهران، ۱۴۰۳). **تصویر شماره ۴** موقعیت بزرگراه‌ها و خطوط مترو در منطقه ۱۹ تهران را نشان می‌دهد.

### روش

هدف از انجام پژوهش حاضر تعیین رابطه محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه ۱۹ شهر تهران است که به روش توصیفی از نوع همبستگی در منطقه ۱۹ شهر تهران انجام شده است. ضمن توصیف خصوصیات آزمودنی‌ها، همبستگی و روابط بین متغیرهای مورد استفاده در پژوهش نیز ارزیابی شده است. همچنین پژوهش پیش‌رو از لحاظ هدف، کاربردی است که جهت برنامه‌ریزی و بهبود عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران می‌تواند در سازمان‌ها و بخش‌های مربوطه در شهر تهران و یا سایر شهرها مورد استفاده قرار گیرد. گردآوری اطلاعات در تحقیق حاضر به‌صورت میدانی بوده که در آن محقق با حضور در ایستگاه‌های آتش‌نشانی تحت پوشش منطقه ۱۹ شهر تهران اقدام به جمع‌آوری اطلاعات و پخش

منطقه ۱۹ دارای ۵ ناحیه و ۱۳ محله است و مجموعاً وسعتی بالغ بر ۹۲ کیلومتر مربع دارد. نواحی ۱ تا ۳ منطقه در داخل محدوده شهر تهران بوده و ۲۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. این محدوده ۲۹۵ هزار نفر سکنه دارد که طبق آخرین آمارها در ۶۴ هزار خانوار زندگی می‌کنند. نواحی ۴ و ۵ محدوده دارای ۱۳ روستا و وسعتی قریب ۷۲ کیلومتر مربع دارد. روستاهای این نواحی از لحاظ تقسیمات وزارت کشور در بخش آفتاب قرار دارند. مساحت کل منطقه: ۹/۲۱۴ هکتار است که از این میزان ۲/۰۳۲ هکتار دربرگیرنده مساحت داخلی منطقه است. باتوجه به مساحت کل منطقه که بالغ بر ۹۲۱۴۰۰۰۰ متر مربع و تعداد ۵ ناحیه و ۱۳ محله، جمعیت کل منطقه: ۲۹۵۶۲۷ نفر، تعداد خانوار: ۷۷۷۶۴ خانوار است که نشان از رشد جمعیت در سالیان اخیر را داشته است؛ لذا شاخص رشد جمعیت از منظر عملکرد نیروهای آتش‌نشانی مد نظر قرار داده شده است. بیشترین تراکم ساختمانی و جمعیتی در ناحیه ۱ منطقه ۱۹ قرار دارد که در پژوهش حاضر به‌عنوان یکی از زیرمعیارها جهت بررسی عملکرد آتش‌نشانی عنوان شده است. **تصویر شماره ۳** تراکم جمعیتی منطقه را جهت بررسی شاخص رشد جمعیت نشان می‌دهد.

دسترسی منطقه ۱۹ به ناوگان حمل‌ونقل عمومی و جاده‌ای نسبتاً خوب است. از این منطقه دو خط مترو با قریب ۱۰ ایستگاه می‌گذرد. همچنین دارای ۱۵۱ ایستگاه اتوبوس است.



تصویر ۴. موقعیت بزرگراه‌ها جهت بررسی شاخص حمل‌ونقل عمومی در منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

پرسش‌نامه نمونه است.

جامعه آماری شامل تمامی کارکنان عملیاتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تحت پوشش منطقه ۱۹ شهر تهران به تعداد ۲۱۰ نفر بودند. جهت تعیین حجم نمونه از جدول مورگان استفاده شد که تعداد نمونه آماری ۱۳۲ نفر مشخص گردید.

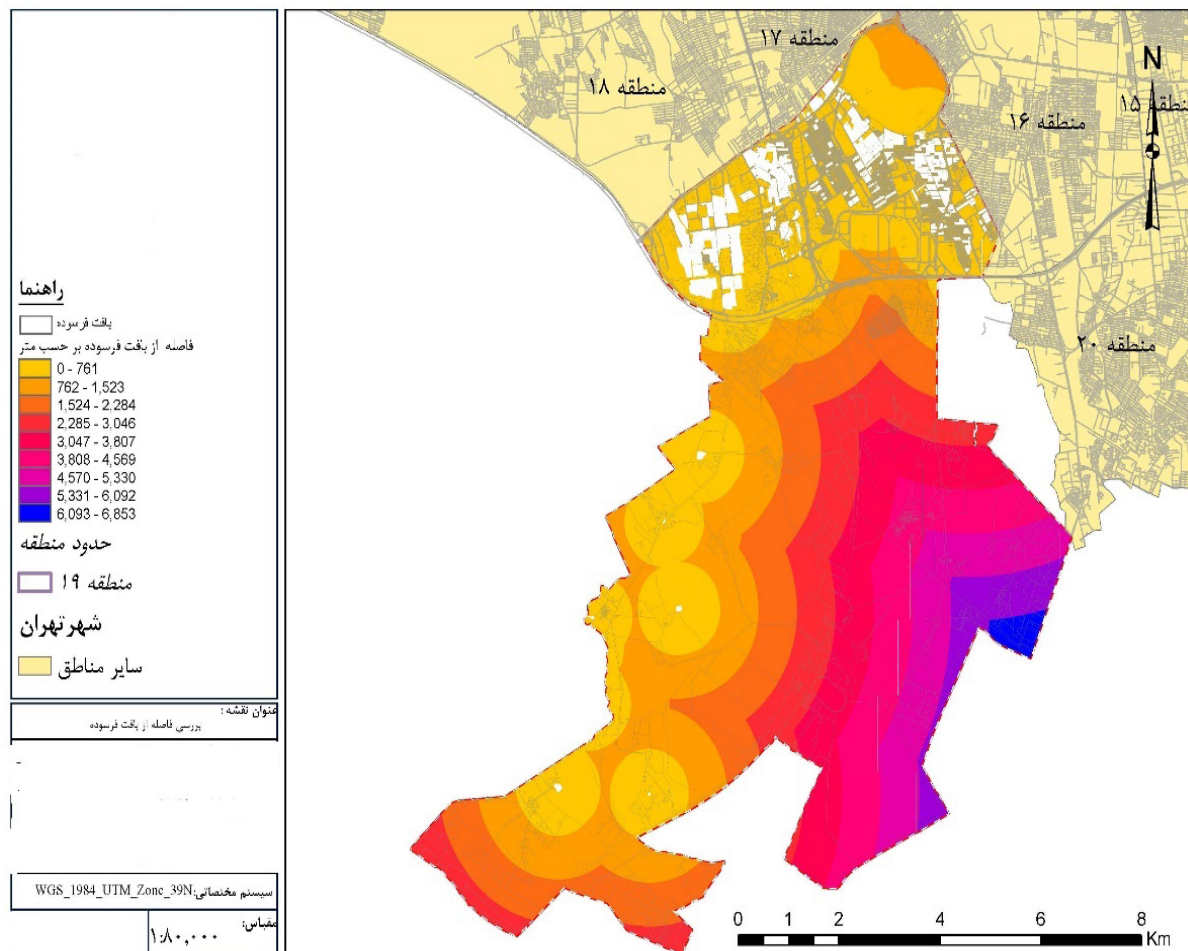
روش نمونه‌گیری در تحقیق حاضر به صورت تصادفی بوده است. بدین صورت که تمامی کارکنان از یک شانس یکسان جهت حضور در میان نمونه‌های تحقیق برخوردار بودند. در نهایت پس از پخش و جمع‌آوری پرسش‌نامه‌های تحقیق، تعداد ۱۲۵ پرسش‌نامه صحیح و کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. توصیف‌های آماری و رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۴ و اکسل نسخه ۲۰۱۳ انجام شده است. باتوجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه به بررسی محدودیت‌ها و مشکلات فضای شهری جهت اعزام نیروهای آتش‌نشانی پرداخته نشده است، لذا این پژوهش از این منظر دارای نوآوری است و برای اولین بار در منطقه ۱۹ تهران بررسی می‌شود.

فرض پژوهش بر این است که محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران تأثیر معناداری دارد. لذا با در نظر گرفتن فرضیه مسئله هدف فرعی تحقیق به شرح ذیل در نظر گرفته

شد: بافت‌های فرسوده، محدودیت‌های زیرساخت شهری، افزایش رشد جمعیت و افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی تأثیر دارد. از طرفی فقدان بررسی‌های علمی و خلای تحقیقاتی در خصوص تأثیر برخی محدودیت‌های ایجاد شده فضای شهری بر عملکرد آتش‌نشانی در شرایط بحران اهمیت پژوهش را دوچندان کرده است تا شواهد علمی کافی از تأثیرات واقعی محدودیت‌های فضای شهری در این حوزه در دسترس نباشد.

اهمیت و ضرورت دیگری که پژوهش حاضر دارد این است که سبب می‌گردد مدیران منطقه تحت پوشش، به صورت شفاف از خطرات احتمالی برخی محدودیت‌های فضای شهری باخبر شوند و همچنین دغدغه‌های جهت مدیریت این محدودیت‌ها ایجاد گردد. باتوجه به ویژگی‌های منطقه ۱۹ شهر تهران و وجود پتانسیل‌های بحران در این منطقه، این سؤال مطرح است که «آیا محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه ۱۹ شهر تهران تأثیر دارد؟»

باتوجه به وقوع بحران‌های اخیر در شهر تهران و اهمیت مسئله بحران و آمار بالای فرسودگی در بناهای منطقه ۱۹، شاخص بافت فرسوده مورد مطالعه قرار گرفت. مساحت بافت فرسوده در منطقه



تصویر ۵. موقعیت شاخص بافت‌های فرسوده در منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

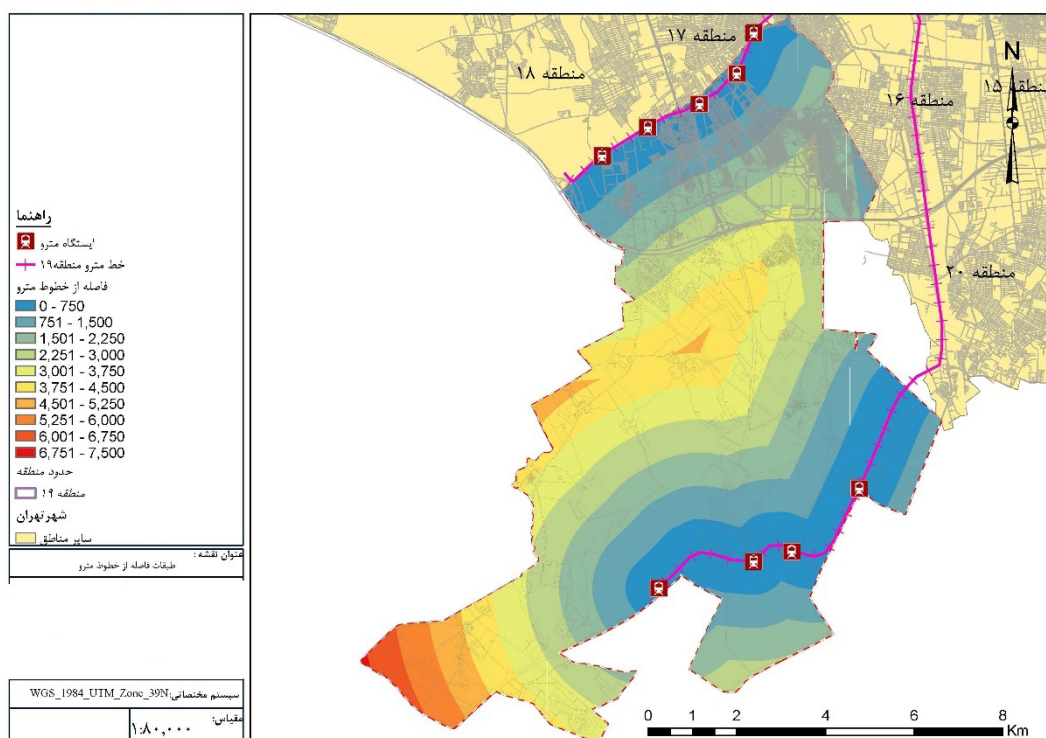
آن‌ها بیشتر باشد، عملکرد نیروهای آتش‌نشانی در اعزام به حریق و حوادث بهتر خواهد بود. لذا در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت این موضوع نقشه معابر و سایر شاخص‌ها تولید و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور جمع‌آوری اطلاعات، پرسش‌نامه‌ای محقق‌ساخته‌ای حاوی اطلاعات لازم برای پاسخگویی به سؤالات تحقیق تدوین و در بین جامعه آماری پخش شد. پرسش‌نامه پژوهش در دو بخش تنظیم شد که بخش اول شامل اطلاعات عمومی مربوط به پاسخ‌دهندگان است و بخش دوم مشتمل بر ۳۰ گویه بود که متغیرهای تحقیق را مورد سنجش قرار داد (جدول شماره ۲).

#### بررسی روایی و پایایی ابزار پژوهش

برای اندازه‌گیری روایی محتوا، از نظر اساتید و متخصصان آتش‌نشانی و شهرداری منطقه و همچنین اساتید دانشگاه و خبرگان استفاده شد. در نتیجه اشکالات ساختاری آن شناسایی و اصلاحات لازم جهت برآورده ساختن روایی ظاهری صورت پذیرفت. پایایی پرسش‌نامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه

۱۹: ۱۶۰۰۰۰ متر مربع، درصد بافت فرسوده: ۰/۸ درصد، بافت ناپایدار: ۱۰/۷ درصد (تصویر شماره ۵) و تراکم جمعیتی: ۱۲۶ نفر در هر ۱۰۰۰۰ متر مربع (تصویر شماره ۳) از شاخص‌های مهم پژوهش است که مورد بررسی قرار گرفته است. (پورتال شهرداری منطقه ۱۹ شهر تهران، ۱۴۰۳). در منطقه ۱۹ شهر تهران، معضل بافت‌های فرسوده به امری جدی و غیرقابل انکار تبدیل شده است. وقوع بیش از هزاران نوع آتش‌سوزی (کوچک و بزرگ) از بین ۸ ایستگاه منطقه مورد مطالعه در طول سال، بیانگر این موضوع است که منطقه ۱۹ در عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی در محدوده ایستگاه‌های تحت پوشش خود باید مناسب باشد (تصویر شماره ۲).

وجود بافت‌های فرسوده، افزایش رشد جمعیت، زیرساخت‌های شهری (پمپ‌های بنزین و گاز، تأسیسات شهری) اثرات منفی در عملکرد نیروهای آتش‌نشانی منطقه دارد، اما حمل‌ونقل عمومی جهت تسهیل در انتقال افراد در بحران می‌تواند نقطه مثبتی در عملکرد نیروها باشد. هر چقدر تعداد معابر و عرض



تصویر ۶. موقعیت ایستگاه‌های مترو جهت بررسی شاخص حمل‌ونقل عمومی در منطقه ۱۹، سال ۱۴۰۲

$Z =$  تعداد زیر مجموعه سؤال‌های پرسش‌نامه یا آزمون

$$S_j^2 = \text{واریانس زیر آزمون } j \text{ ام}$$

$$S^2 = \text{واریانس کل آزمون}$$

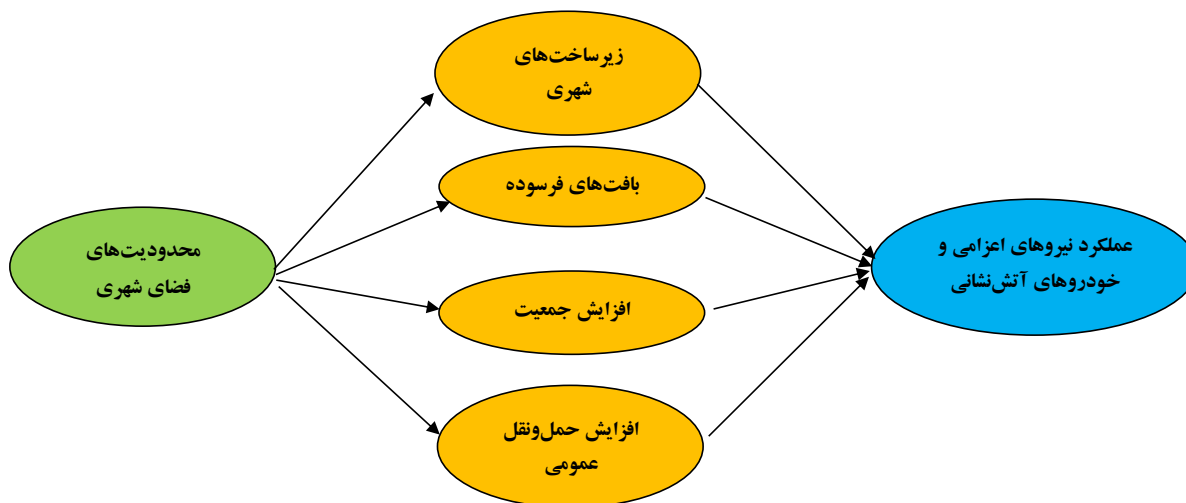
باتوجه به مقدار آلفای کرونباخ مربوط به هر متغیر و مقدار آلفای کلی که بیشتر از ۰/۷ درصد می‌باشد، تمامی متغیرها به‌طور مجزا و در مجموع از پایایی مناسب برخوردار شدند. پژوهش حاضر شامل ۱ متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است که محدودیت‌های فضای

۴۰ و روش آلفای کرونباخ محاسبه شده است (فرمول شماره ۱).  
جدول شماره ۳ پایایی پرسش‌نامه را به تفکیک متغیرها و گویه‌ها نشان می‌دهد.

1.

$$r_a = \frac{j}{j-1} \left( 1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right)$$

که در این فرمول:



تصویر ۷. مدل مفهومی تحقیق



## جدول ۳. محاسبه پایایی پرسش‌نامه

متغیر	تعداد سؤالات	مقدار ضریب آلفای کرونباخ
بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹	۵	۰/۷۸
محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری منطقه ۱۹	۸	۰/۷۹
رشد جمعیت منطقه ۱۹	۳	۰/۷۴
محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی منطقه ۱۹	۴	۰/۷۲
محدودیت‌های فضای شهری منطقه ۱۹	۲۰	۰/۷۱
عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی منطقه ۱۹	۱۰	۰/۷۵
مجموع	۳۰	۰/۷۶

## جدول ۴. توزیع درصد فراوانی سنی و تحصیلات افراد شرکت‌کننده در تحقیق

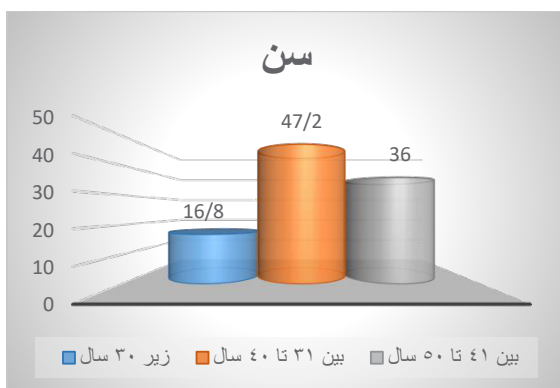
گروه نمونه	تعداد (درصد)
بین ۴۱ تا ۵۰ سال	۲۱(۱۶/۸)
بین ۳۱ تا ۴۰ سال	۵۹(۴۷/۲)
زیر ۳۰ سال	۴۵(۳۶)
کارشناسی ارشد بالاتر	۳۴(۲۷/۲)
کارشناسی	۵۲(۴۱/۶)
پایین‌تر از کارشناسی	۳۹(۳۱/۲)

## جدول ۵. توزیع درصد فراوانی سابقه خدمت افراد شرکت‌کننده در تحقیق

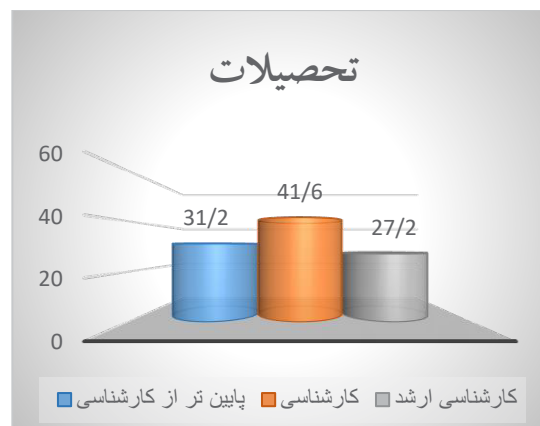
گروه نمونه	تعداد (درصد)
بالاتر از ۲۰ سال	۸(۶/۴)
۱۶ تا ۲۰ سال	۱۱(۸)
۱۵ تا ۱۱ سال	۲۵(۲۰)
۱۰ تا ۶ سال	۶۹(۵۵/۲)
زیر ۵ سال	۱۲(۹/۶)

## جدول ۶. آماره‌های توصیفی متغیرهای تحقیق

مفهوم	بعد	تعداد سؤالات	میانگین $\pm$ انحراف معیار
بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹	۱۹	۵	۹/۶۲ $\pm$ ۲/۱۲
محدودیت‌های فضای شهری منطقه ۱۹	محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری	۸	۱۷/۷۰ $\pm$ ۲/۵۸
شهری منطقه ۱۹	رشد جمعیت منطقه ۱۹	۳	۱۰/۴۱ $\pm$ ۲/۵۶
	محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی منطقه ۱۹	۴	۶/۵۰ $\pm$ ۱/۶۵
	عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی منطقه ۱۹	۲۰	۷۵/۱۸ $\pm$ ۷/۳۰



تصویر ۹. توزیع درصد فراوانی سنی افراد شرکت‌کننده در تحقیق



تصویر ۸. توزیع درصد فراوانی تحصیلات افراد شرکت‌کننده در تحقیق

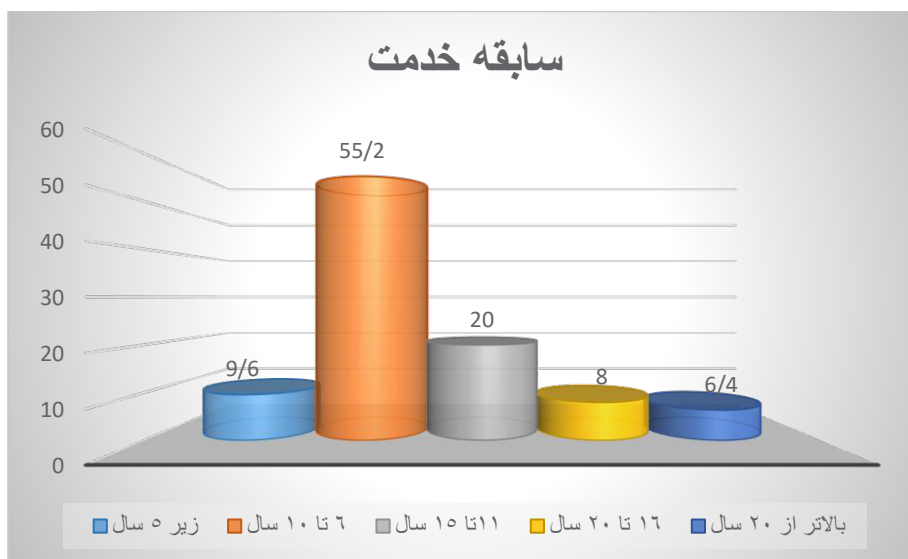
## یافته‌ها

### توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی

برای نیل به اهداف پژوهش در مطالعه حاضر به بررسی آماری داده‌های به‌دست‌آمده پرداخته شده است. نخست توصیفی از ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در پژوهش آورده شده، سپس به بررسی آماری داده‌ها برای پاسخ به فرضیات این پژوهش پرداخته شده است. در جدول شماره ۴ و تصاویر شماره ۸ و ۹ توزیع فراوانی سن و تحصیلات افراد شرکت‌کننده در تحقیق را نشان می‌دهد که حاکی از آن است که افراد پاسخ‌گو از میانگین سنی و تحصیلات قابل‌قبولی برخوردار هستند.

شهری شامل زیرساخت‌های شهری، بافت فرسوده، رشد جمعیت و حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان متغیرهای مستقل و عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی نیز به‌عنوان متغیر وابسته تعیین شده است. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق حاضر از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. در قسمت آمار توصیفی از میانگین و انحراف معیار استفاده گردید. همچنین در قسمت آمار استنباطی نیز از آزمون‌های کلوموگروف اسمیرنوف جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها و جهت تعیین رابطه میان متغیرهای از آزمون رگرسیون استفاده گردید. پس از استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها و خروجی اطلاعات نرم‌افزاری و دیدگاه کلی به موضوع، مدل مفهومی پژوهش طراحی شد. مدل مفهومی پژوهش حاکی از آن است که معیارهای متغیر محدودیت‌های فضایی در شهر بر عملکرد نیروهای آتش‌نشانی و مسیر حرکت خودروها تأثیر مستقیم دارد (تصویر شماره ۷).

6. Kolmogorov-Smirnov



تصویر ۱۰. توزیع درصد فراوانی سابقه خدمت افراد شرکت‌کننده در تحقیق



جدول ۷. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

مفهوم	بعد	Z	sig	توزیع داده‌ها
	بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹	۱/۱۳۶	۰/۱۵۱	طبیعی
محدودیت‌های فضای شهری	محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری منطقه ۱۹	۱/۰۵۱	۰/۲۱۹	طبیعی
منطقه ۱۹	رشد جمعیت منطقه ۱۹	۱/۲۳۲	۰/۰۹۶	طبیعی
	محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی منطقه ۱۹	۱/۱۲۵	۰/۰۷۴	طبیعی
	عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی منطقه ۱۹	۱/۶۳۲	۰/۰۵۵	طبیعی

جدول ۸. آمار خلاصه مدل رگرسیون

مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای انحراف معیار
-----	------------------	------------------------------	----------------------	-------------------

جدول ۹. نتایج آزمون آنووا برای پیش‌بینی عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی براساس بافت‌های فرسوده

متغیر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معیار تصمیم‌گیری sig
رگرسیون	۵۵/۳۶	۱	۵۵/۳۶		
باقی مانده	۷۲/۲۰۱	۱۲۳	۰/۵۸۷	۹۴/۳۳۵	۰/۰۰۱
کلی	۱۲۷/۵۶۱	۱۲۴			

### آمار توصیفی

### توزیع درصد فراوانی سابقه خدمت افراد شرکت‌کننده در تحقیق

باتوجه به موضوع پژوهش هرکدام از شاخص‌های با تعداد گویه‌های مشخص طبق جدول شماره ۶ با تعیین میانگین و انحراف معیار مشخص شدند.

نتایج جدول شماره ۵ نشان می‌دهد ۹/۶ درصد از افراد شرکت‌کننده در تحقیق زیر ۵ سال، ۵۵/۲ درصد بین ۶ تا ۱۰ سال، ۲۰ درصد بین ۱۱ تا ۱۵ سال، ۸ درصد بین ۱۶ تا ۲۰ سال و ۶/۴ درصد بالاتر از ۲۰ سال سابقه کار داشتند (تصویر شماره ۱۰).

### آزمون طبیعی بودن توزیع داده‌ها

برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره ۷ ارائه شده است. یافته‌ها حاکی از طبیعی بودن توزیع داده‌ها دارد.

جدول ۱۰. نتایج آزمون رگرسیون ساده

مدل	عنوان	B	خطای انحراف معیار	beta	t	Sig
۱	ثابت	۱/۱۰۵	۰/۳۵۴		۸/۱۲۰	۰/۰۰۱
۲	بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹	۰/۵۱۲	۰/۰۸۷	-۰/۵۱۲	۱۱/۳۶۵	۰/۰۰۱

جدول ۱۱. آمار خلاصه مدل رگرسیون

مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای انحراف معیار
۱	-۰/۴۸۷	۲۳/۷	۰/۳۰۱	۰/۳۵۱



جدول ۱۲. نتایج آزمون آنووا برای پیش‌بینی عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی بر اساس محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری

متغیر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معیار تصمیم‌گیری sig
رگرسیون	۳۶/۱۹	۱	۳۶/۱۹		
باقی‌مانده	۵۱/۰۴۵	۱۲۳	۰/۴۱۵	۸۷/۲۱۵	۰/۰۰۱
کلی	۸۷/۲۳۵	۱۲۴			

جدول ۱۳. نتایج آزمون رگرسیون ساده

مدل	عنوان	B	خطای انحراف معیار	beta	t	Sig
۱	ثابت	۱/۲۰۸	۰/۴۸۹		۱/۱۲۰	۰/۰۰۱
۲	محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری منطقه ۱۹	۰/۴۱۵	۰/۰۶۲	-۰/۴۸۷	۲/۲۶۵	۰/۰۰۱

یافته‌های حاصل از پژوهش طبق **جدول شماره ۱۰ و ۱۱** حاکی از آن است که ضریب همبستگی بافت‌های فرسوده منطقه ۱۹ و عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی ۰/۵۱۲- یعنی در جهت عکس است، یعنی افزایش در یک عامل باعث کاهش در عامل دیگر می‌شود و ضریب تعیین، یعنی درصدی از واریانس متغیر ملاک که توسط متغیرهای پیش‌بین تبیین می‌گردد در این رابطه برابر با ۰/۲۶۲ درصد است. بنابراین، متغیر بافت‌های فرسوده، ۲۶/۲ درصد از متغیر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی را در جهت معکوس پیش‌بینی می‌کند. همچنین معادله رگرسیون با  $F=94/325$  و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ که از ۰/۰۵ کوچک‌تر است، معنادار می‌باشد (**فرمول شماره ۲**):

براساس یافته‌ها و نتایج آزمون، وقتی توزیع داده‌ها نرمال است که مقدار یا سطح معناداری بیشتر از عدد بحرانی در سطح ۰/۰۵ باشد ( $P \geq 0/05$ ). با توجه به نتایج **جدول شماره ۸** و سطوح معنی‌داری به دست آمده در متغیرها که بیشتر از ۰/۵ است، باید از آزمون‌های پارامتریک استفاده کرد.

### فرضیه اول

**بافت‌های فرسوده بر عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی تأثیر دارد.**

نتایج **جدول شماره ۹** نشان می‌دهد ( $P \leq 0/01$ ،  $F=94/325$ ) است.

جدول ۱۴. آمار خلاصه مدل رگرسیون

مدل	ضریب همبستگی R	ضریب تعیین R <sup>۲</sup>	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای انحراف معیار
۱	-۰/۴۵۸	۲۰/۹	۰/۲۲۸	۰/۳۱۰

جدول ۱۵. نتایج آزمون آنووا برای پیش‌بینی عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش‌نشانی بر اساس افزایش رشد جمعیت

متغیر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معیار تصمیم‌گیری sig
رگرسیون	۹۷/۲۲	۱	۹۷/۲۲		
باقی‌مانده	۹۵/۲۰۲	۱۲۳	۰/۷۷۴	۷۵/۲۵۴	۰/۰۰۱
کلی	۱۹۲/۴۲۲	۱۲۴			

جدول ۱۶. نتایج آزمون رگرسیون ساده

مدل	عنوان	B	خطای انحراف معیار	beta	t	Sig
۱	ثابت	۱/۴۱۲	۰/۴۱۵		۷/۵۴۱	۰/۰۰۱
۲	افزایش رشد جمعیت منطقه ۱۹	۰/۶۴۲	۰/۰۴۸	-۰/۴۵۸	۹/۶۳۰	۰/۰۰۱

جدول ۷۱. آمار خلاصه مدل رگرسیون

مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای انحراف معیار
۱	-۰/۳۲۵	۱۰/۵	۰/۱۰۹	۰/۱۸۴

جدول ۸۱. نتایج آزمون آنووا برای پیش بینی عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی بر اساس افزایش محدودیت های حمل و نقل عمومی

متغیر	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	معیار تصمیم گیری sig
رگرسیون	۳۶/۰۲	۱	۳۶/۰۲		
باقیمانده	۱۰۷/۵۰۲	۱۲۳	۰/۸۷۴	۴۱/۱۴۵	۰/۰۰۱
کلی	۱۴۳/۵۲۲	۱۲۴			

جدول ۹۱. نتایج آزمون رگرسیون ساده

مدل	عنوان	B	خطای انحراف معیار	beta	t	Sig
۱	ثابت	۱/۰۱۲	۰/۵۳۹		۱/۴۹۸	۰/۰۰۱
۲	افزایش محدودیت های حمل و نقل عمومی منطقه ۱۹	۰/۳۰۸	۰/۰۸۷	-۰/۳۲۵	۳/۰۲۵	۰/۰۰۱

## فرضیه سوم

۲. (بافت های فرسوده)  $Y' = 1/105 + 0/512$  (عملکرد نیروهای اعزامی و خودروهای آتش نشانی)

افزایش رشد جمعیت بر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی تأثیر دارد.

## فرضیه دوم

محدودیت های زیرساخت های شهری بر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی منطقه ۱۹ تأثیر دارد.

نتایج جدول شماره ۱۵ نشان می دهد ( $F=75/254, P \leq 0/01$ ) می باشد.

نتایج جدول شماره ۱۲ نشان می دهد ( $F=87/215, P \leq 0/01$ ) است.

همان طور که در جدول شماره ۱۶ و ۱۷ ملاحظه می شود، ضریب همبستگی افزایش رشد جمعیت منطقه ۱۹ و عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی  $-0/458$  یعنی در جهت عکس می باشد، یعنی افزایش در یک عامل باعث کاهش در عامل دیگر می شود و ضریب تعیین، یعنی درصدی از واریانس متغیر ملاک که توسط متغیرهای پیش بین عنوان شده در این رابطه برابر با  $0/209$  درصد است. بنابراین متغیر افزایش رشد جمعیت،  $20/9$  درصد از متغیر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی را در جهت معکوس پیش بینی کرده است. همچنین معادله رگرسیون با  $F=75/242$  و سطح معنی داری  $0/001$  که از  $0/05$  کوچک تر است، معنادار می باشد (فرمول شماره ۴):

طبق جداول شماره ۱۳ و ۱۴ حاصل یافته های تحقیق، ضریب همبستگی محدودیت های زیرساخت های شهری منطقه ۱۹ و عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی  $-0/487$  یعنی در جهت عکس است، یعنی افزایش در یک عامل باعث کاهش در عامل دیگر می شود و ضریب تعیین، یعنی درصدی از واریانس متغیر ملاک که توسط متغیرهای پیش بین تبیین می گردد در این رابطه برابر با  $0/237$  درصد شده است. بنابراین متغیر محدودیت های زیرساخت های شهری،  $23/7$  درصد از متغیر عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی را در جهت معکوس پیش بینی می کند. همچنین معادله رگرسیون با  $F=87/215$  و سطح معنی داری  $0/001$  که از  $0/05$  کوچک تر است، معنادار می باشد (فرمول شماره ۳):

۴. (افزایش رشد جمعیت)  $Y' = 1/412 + 0/642$  (عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی)

۳. (محدودیت های زیرساخت های شهری)  $Y' = 1/208 + 0/415$  (عملکرد نیروی اعزامی و خودروهای آتش نشانی)



## فرضیه چهارم

افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی بر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی منطقه ۱۹ تأثیر دارد.

نتایج جدول شماره ۱۸ نشان می‌دهد ( $F=41/145$ ،  $P \leq 0/01$ ) می‌باشند.

همان‌طور که در جدول شماره ۱۹ ملاحظه می‌شود، ضریب همبستگی افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی منطقه ۱۹ و عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی ۰/۳۲۵- یعنی در جهت عکس است، یعنی افزایش در یک عامل باعث کاهش در عامل دیگر می‌شود و ضریب تعیین، یعنی درصدی از واریانس متغیر ملاک که توسط متغیرهای پیش‌بین تبیین می‌گردد در این رابطه برابر با ۰/۱۰۵ درصد می‌باشد. بنابراین متغیر افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی، ۱۰/۵ درصد از متغیر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی را در جهت معکوس پیش‌بینی کرده است. همچنین معادله رگرسیون با  $F=41/145$  و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ که از ۰/۰۵ کوچک‌تر است، معنادار می‌باشد (فرمول شماره ۵):

۵. (افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی)  $Y' = 1/012 + 0/308$  (عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی)

## بحث

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر محدودیت‌های فضای شهری بر عملکرد نیروهای آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران به صورت موردی در منطقه ۱۹ شهر تهران انجام شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد متغیر بافت‌های فرسوده، ۲۶/۲ درصد از متغیر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی را در جهت معکوس پیش‌بینی می‌کند. همچنین متغیر محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری، ۲۳/۷ درصد از متغیر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی را در جهت معکوس به دست آورد. متغیر افزایش رشد جمعیت، ۲۰/۹ درصد از متغیر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی را در جهت معکوس ارزیابی کرد. همچنین تحقیق نشان داد متغیر افزایش محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی، ۱۰/۵ درصد از متغیر عملکرد نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی را در جهت معکوس پیش‌بینی کرد. در بخش آمار توصیفی بیشترین گروه نمونه افرادی با میانگین سنی ۴-۳۱ سال و با مشارکت ۴۷/۲ درصد با مدرک تحصیلی کارشناسی با ۴۱/۶ درصد بوده است. بیشترین جامعه آماری شرکت‌کننده دارای ۱۰-۶ سابقه با ۵۵/۲ درصد مشارکت بوده است. بیشترین میانگین و انحراف معیار گویه‌های حاصل از آماره توصیفی متغیرهای پژوهش مربوط به عملکرد نیروها و خودروهایی آتش‌نشانی در منطقه مورد مطالعه با  $75/18 \pm 7/30$  ارزیابی شده است.

توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام و همگی آن‌ها دارای توزیع نرمال و طبیعی شدند. تفسیر فرضیات پژوهش حاکی از آن است که تمامی آن‌ها سبب می‌گردد بستر لازم جهت بهبود عملکرد نیروهای آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران ایجاد نگردد و مشکلات اساسی در خصوص عملکرد این نیروها و خودروهایی شکل بگیرد. همچنین این مسئله سبب شده است محدودیت‌های فضای شهری، بافت‌های فرسوده، زیرساخت‌های شهری، افزایش رشد جمعیت و محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی، آزادی عمل و قدرت مانور نیروها و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در منطقه ۱۹ شهر تهران کاهش یابد و باعث مختل شدن عملکرد نیروها و خودروهایی آتش‌نشانی گردد. از طرفی بافت‌های فرسوده به دسترسی ناقص خودروهایی آتش‌نشانی منجر می‌گردد. بدین صورت که بافت‌های فرسوده به علت عدم تطابق با استانداردهای شهری و حمل‌ونقل سبب می‌گردد دسترسی کاملی از سوی خودروهایی آتش‌نشانی به مناطق هدف ایجاد نگردد. لذا بافت‌های فرسوده به علت وجود محدودیت‌های ایجاد شده بر عملکرد نیروهای آتش‌نشانی و خودروهایی آتش‌نشانی تأثیر منفی دارند.

## نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد محدودیت‌های فضای شهری، بافت‌های فرسوده، محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری، افزایش رشد جمعیت و محدودیت‌های حمل‌ونقل عمومی بر عملکرد نیروهای آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران تأثیر معناداری دارد. بدین صورت که تمامی شاخص‌های نام برده شده سبب کاهش عملکرد نیروهای آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران می‌گردد. یکی از نکات مهم در زمان وقوع بحران، دسترسی کامل به مکان وقوع بحران می‌باشد. از این رو محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری سبب می‌گردد نیروهای آتش‌نشانان فعالیت‌ها و برنامه‌های مدنظر خود را نتوانند به صورت مناسبی اجرایی کنند. از طرفی محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری سبب می‌گردد نیروها و خودروهایی آتش‌نشانی نتوانند از تمامی پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های خود استفاده نمایند. وجود جمعیت زیاد در زمان وقوع بحران و حادثه و تجمع این افراد سبب ایجاد مزاحمت‌هایی در روند عملیاتی آتش‌نشانی می‌گردد. رشد جمعیت و تراکم جمعیتی در برخی از نواحی منطقه ۱۹ و نداشتن فرهنگ ایمنی مناسب در هنگام مشاهده خودروهایی آتش‌نشانی اختلال بسیار زیادی در پیشرفت عملیات و زودتر رسیدن نیروها ایجاد کرده است. این تراکم بدون شک به بروز مزاحمت‌هایی برای نیروی آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی منجر می‌گردد. لذا رشد جمعیت به واسطه ایجاد محدودیت‌ها، مشکلات و مزاحمت‌ها سبب می‌گردد عملکرد نیروهای آتش‌نشانان و خودروهایی آتش‌نشانی در شرایط بحران در شهر تهران به صورت



با بررسی شاخص رشد جمعیت و تأثیر آن بر عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی پیشنهاد می‌گردد فرهنگ‌سازی در میان جامعه از طریق رسانه‌های جمعی جهت کاهش تجمع در زمان‌های بروز بحران، به مدیریت و کنترل جمعیت و همچنین بهبود عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی اقدام نمود.

با بررسی نقش حمل‌ونقل عمومی بر عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی پیشنهاد می‌گردد با ایجاد سازوکارهای حمل‌ونقلی جهت مدیریت ترافیک در زمان‌های بروز بحران و استفاده از امکانات کنترلی در سطوح منطقه، سبب بهبود عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی نمود.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مطالعه، تمام اصول اخلاق در پژوهش رعایت شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی بر روی نمونه‌های حیوانی یا انسانی انجام نشد، هیچ کد اخلاقی اخذ نشد.

#### حامی مالی

این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهدی مهدوی است و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

#### مشارکت نویسندگان

متدولوژی: مهدی مهدوی و افراسیاب خیردست؛ تحلیل دله‌ها: سعید آجرلو.

#### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

#### تشکر و قدردانی

از کلیه همکاران و اساتید محترم که گروه نویسندگان را در نگارش مقاله یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

معناداری کاهش یابد. ترافیک‌های موجود در برخی از نواحی منطقه ۱۹ و افزایش حمل‌ونقل به ایجاد مزاحمت منجر شده و به‌عنوان موانعی در رسیدن نیروهای آتش‌نشانی به محل حادثه یا آتش‌سوزی تلقی می‌گردد.

بدون شک ایجاد ترافیک سبب می‌گردد دسترسی به مکان‌های بروز بحران از سوی نیروها و خودروهای آتش‌نشانی به‌صورت مناسبی انجام نگردد. این مسئله ضمن تأثیرگذاری بر عملکرد عملکرد نیروی اعزامی خودروهای آتش‌نشانی سبب کاهش میزان عملکرد نیروی اعزامی خودروهای آتش‌نشانی می‌گردد. لذا وجود این نوع محدودیت‌ها و چالش‌ها برای نیروهای آتش‌نشانی در منطقه ۱۹ جهت عملیات اطفای حریق باعث شد پژوهش حاضر با رویکردی نوآورانه جهت مرتفع کردن این محدودیت‌ها به روش علمی صورت پذیرد.

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش استاف و همکاران، ۲۰۱۹ مبنی بر دسترسی آتش‌نشانان به حادثه در بحران‌ها در یک راستا است. همچنین نتایج پژوهش شاتکین، ۲۰۱۹ درباره سازگاری بحران‌های طبیعی فضای شهری با نتایج پژوهش حاضر در تضاد است، چراکه در منطقه مورد مطالعه فضاهای شهری منطقه در بحران‌های طبیعی عملکرد خوبی ندارد. با توجه به پژوهش پاداش و خیردست در سال ۱۴۰۲، به جهت اهمیت عملکرد نیروهای آتش‌نشانی در رسیدن به محل حریق، همسو است. در نهایت نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌هایی که (بوژانگ و همکاران، ۱۴۰۲؛ مودب و همکاران (۱۴۰۲)، راهب و فرهادیان (۱۴۰۲)؛ طهماسبی و همکاران (۱۳۹۹) و لی و همکاران (۲۰۲۴) انجام داده‌اند، در یک راستا است.

#### پیشنهادات

با توجه به فرضیات مسئله و نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهادات زیر در راستای بهبود عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی در هنگام اعزام به حریق و حوادث در منطقه ۱۹ شهر تهران ارائه می‌گردد:

- با توجه به یافته‌های تحقیق مبنی بر نقش بافت‌های فرسوده بر عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی پیشنهاد می‌گردد با اعمال استانداردهای شهری در بافت‌های فرسوده و رفع نواقص موجود به استانداردسازی بافت‌های فرسوده و بهبود عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی اقدام نمود.

- با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش مبنی بر نقش محدودیت‌های زیرساخت‌های شهری بر عملکرد نیروها و خودروهای آتش‌نشانی پیشنهاد می‌گردد با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی در خصوص مشکلات و محدودیت‌های زیرساخت شهری در منطقه ۱۹ تهران، آگاهی لازم در خصوص مشکلات احتمالی و مقابله با آن در زمان بروز بحران را ایجاد نمود.

## References

- Ajorlou, S., Padash, A. and Kheirdast, A. (2023). [The Effect of education on people's performance during the Tehran earthquake crisis (before the crisis) (Persian)]. *Journal of Urban Environmental Management*, 1(4), 35-48. [DOI:10.48306/jumee.2024.432726.1029]
- Akano, O. A., Hanson, E., Nwakile, C., & Esiri, A. E. (2024). Improving worker safety in confined space entry and hot work operations: Best practices for high-risk industries. *Global Journal of Advanced Research and Reviews*, 2(02), 031-039. [DOI:10.58175/gjarr.2024.2.2.0056]
- Ashori, M., & Azizi, M. M. (2023). [Evaluation of Urban Neighborhoods' Public Space with Emphasis on the Concept of Time (Case Study: Gulsar and Saghrisazan Neighborhoods in Rasht City) (Persian)]. *Danesh-e Shahr-Sazi (Urban Planning Knowledge)*, 7(4), 1-24. [DOI:10.22124/upk.2024.25325.1880]
- Bujang, Z., Assim, M. I. S. A., Adam, N. M., Marzuki, O. F., & Kamarudin, S. (2023). Industrial Fire Brigade Emergency Response Time Parameters for Oil & Gas Facility. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(15), 134-152. [DOI:10.6007/IJARBS/v13-i15/18798]
- Calvet-Mir, L., & March, H. (2019). Crisis and post-crisis urban gardening initiatives from a Southern European perspective: The case of Barcelona. *European Urban and Regional Studies*, 26(1), 97-112. [DOI:10.1177/0969776417736098]
- Dong, Q., Li, Y., Li, J., Xie, F., Xu, D., & Su, Z. (2024). The Influence of Confined Space Size on the Temperature Distribution Characteristics of Internal Window Plume from Well-Ventilated Compartment Fires. *Fire*, 7(5), 158. [DOI:10.3390/fire7050158]
- Gültekin, Y. S., & Gültekin, P. (2024). Forest Fire Risk Management at the Country Scale: The Case of Turkey. In J. Rodrigo-Comino, L. Salvati, (Eds), *Fire Hazards: Socio-economic and Regional Issues*. Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-031-50446-4\_4]
- Hajibabae, M., Amini Hosseini, K., & Ghayamghamian, M. R. (2013). A New Method for Assessing the Seismic Risk of Urban Fabrics in Iran. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 15(1), 47-68. [Link]
- Kheirdast, A., Jozi, S.A., & Rezaian, S. (2024). Comparing the performance of genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm in allocating and scheduling fire stations. *International Journal of Environmental Science and Technology*. [DOI:10.1007/s13762-024-05839-7]
- Kheirdast, A., Jozi, S. A., Rezaian, S., & Mirza Ebrahim Tehrani, M. (2024). [Prioritizing Criteria Affecting Fire Identification and Command of Operations Using MCDM and NFPA Standards (Persian)]. *Emergency Management*, 12(2), 83-101. [Link]
- Khairdast, A. (2024). [Fire Management in Tehran Fire Department and Safety Services with a High-Reliability Approach (Case Study: Stations Under the Coverage of District 19 of Tehran Municipality) (Persian)] [PhD dissertation]. Tehran: Islamic Azad University.
- Kheirdast, A., Jozi, S. A., Rezaean, S., & Tehrani, M. (2022). [Locating emergency shelter in District 19 of Tehran using multi-criteria decision-making method (Persian)]. *Human & Environment*, 22(1), 35-45. [Link]
- Khodabandelo, E. A., Hamsi, A. H., Lahijanian, A., Hasani, A. H., & Mohamadi, A. (2024). [Identification and prioritization of factors affecting the resilience of tehran fire department (case study: Fire stations covered by district 20) (Persian)]. *Environmental Science and Technology*, 4(26), 1-18. [Link]
- Kubiak, T., Dudziński, L., Kasperczyk, R., & Czyżewski, Ł. (2024). Emergency services response to eCall System alerts: Observations from 2016-2022 in the National Fire and Rescue System. *Traffic Injury Prevention*, 25(6), 819-824. [DOI:10.1080/15389588.2024.2348041] [PMID]
- Li, C., Bian, H., Ding, D., Huang, F., & Zhu, Z. (2024). Enhancing safety in small confined spaces with thermally triggered fire-extinguishing microcapsules from microfluidics. *Composites Communications*, 53, 102256. [DOI:10.1016/j.coco.2025.102256]
- Modab, R., & Amin, K. (2023). [Developing a model for evaluating the performance of a system in the resilience of historical-commercial tissues (traditional bazaars) against earthquakes; case study: Historical Bazaar of Tabriz (Persian)]. *Quarterly Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 10(3), 85-104. [DOI:10.48303/bese.2022.548668.1061]
- Nonejad, N., Nazemi, E., & Saberi, H. (2020). [Assessing and Measuring the Role of Virtual Space Usage on Components Affecting Urban Crisis Management Based on the Sense of Place (Case Study: Traditional and Modern Urban Space of Isfahan City) (Persian)]. *Crisis Management*, 9(1), 129-140. [Link]
- Padash, A., & Kheirdast, A. (2023). Investigation of the Capacity of Fire Stations in 19 Area Tehran Municipality in Post-earthquake Fires. *Journal of Urban Environmental Management*, 1(3), 14-31. [DOI:10.48306/jumee.2023.416088.1019]
- Raheb, Gh., & Farhadian, M. (2023). [Providing a method for investigating and analyzing the existing spatial structure of cities with an approach to improving the spatial organization of the city (case study: Bandar Abbas City) (Persian)]. *Danesh-e Shahr-Sazi (Urban Planning Knowledge)*, 7(3), 21-40. [DOI:10.22124/upk.2023.24232.1855]
- Stolf, P., Pierson, J. M., Sayah, A., Da Costa, G., & Renaud-Goud, P. (2019). *e-Flooding: Crisis management through two temporal loops*. In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. [DOI:10.24251/HICSS.2019.362]
- Shatkin, G. (2019). Futures of crisis, futures of urban political theory: Flooding in Asian coastal megacities. *International Journal of Urban and Regional Research*, 43(2), 207-226. [DOI:10.1111/1468-2427.12758]
- Strydom, S., & Savage, M. J. (2024). Modification of the microclimate and fire danger by Berg winds in the midlands of KwaZulu-Natal. *South African Geographical Journal*, 1-18. [DOI:10.1080/03736245.2024.2398422]
- Tahmasebi, A., Mir Akbari, H., Mahmod, S., & Nasrzade, H. (2020). [Optimizing the location of urban land uses with combined Delphi- BWM- PROMETHEE methods (Case Study: Fire stations in Ahvaz city) (Persian)]. *Danesh-e Shahr-Sazi (Urban Planning Knowledge)*, 4(3), 89-110. [DOI:10.22124/upk.2020.16186.1438]
- Wang, M., Yue, P., Jiang, L., Yu, D., Tuo, T., & Li, J. (2024). An open flame and smoke detection dataset for deep learning in remote sensing based fire detection. *Geo-Spatial Information Science*, 1-16. [DOI:10.1080/10095020.2024.2347922]
- Zhe, W., Weiguang, A. N., Yanhua, T., & Jiankun, X. (2024). Experiment on fire spread and smoke characteristics in a narrow confined space. *Experimental Technology & Management*, 41(1), 143-149. [Link]
- Zhang, Q., Li, S., & Liu, J. (2024). Impact of fine water mist curtains on fire safety in historic buildings: A case study of foshan historical and cultural district, Guangdong Province, China. *Combustion Science and Technology*, 1-17. [DOI:10.1080/00102202.2024.2401080]