



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Journal of Geography and Urban Space Development Vol. 12, No.3 (Autumn 2025) – Serial Number 30

## Assessment of critical infrastructure management with an emphasis on the resilience approach (Case study: Punak neighborhood, Tehran)

Mohammad Zanganeh

(PhD candidate, Department of Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran)

Mahsa Faramarzi Asli<sup>1</sup>

(Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, Corresponding Author)

Hasan Sattari Sarbangholi

(Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran)

*Received: 15 June 2024*

*Accepted: 10 September 2024*

PP. 139-159

### Abstract

One of the main challenges in achieving sustainability in cities is natural and unnatural hazards, which can cause irreparable damage to different dimensions of cities in case of lack of awareness and preparation. In the meantime, vital infrastructures are an important factor in increasing damages and also one of the main elements of recovering the effects of various hazards, and making them resilient is considered one of the necessities of the city planning system. In this regard, the present research was written with the aim of evaluating the management of critical infrastructures with an emphasis on the resilience approach in Pounak neighborhood of Tehran. Therefore, the research method is applied from the point of view of the objective and from the point of view of analytical-exploratory nature, in order to analyze the information, have been used structural equation modeling in Amos software and multi-criteria decision-making technique of DEMATEL. The statistical community of the research also includes experts and specialists in urban issues of the region 5 of Tehran municipality and the district 3 of this region, and the sample size was determined using Cohen's method of 60 people. The findings of the research indicate that the variables of strength of local infrastructure, establishment and accessibility with a critical value greater than 1.96 at the 95% confidence level have a favorable situation and the recovery and management structure of local infrastructure with a critical value of less than 1.96 has an unfavorable situation in Pounak neighborhood of Tehran. Also, the infrastructure management structure variable has the most influence and the recovery variable has the most influence. The results also show that the disability recovery variable and the variables of management structure of local infrastructure, strength and establishment and access are the causal variables.

**Keywords:** Resilience, Critical infrastructure, Tehran metropolis, Punak neighborhood, Management.

---

<sup>1</sup>. Corresponding author. Email: faramarzi@iaut.ac.ir

## Extended Abstract

### 1. Introduction

One of the fundamental challenges in achieving urban sustainability is natural and unnatural hazards, which, without sufficient awareness and preparedness, can cause irreparable damage. Critical infrastructure is a significant factor in increasing damages and is one of the main pillars of post-hazard recovery, making their resilience a necessity in urban planning. The present study has been written to assess the management of critical infrastructure with an emphasis on the resilience approach in the Punak neighborhood of Tehran.

### 2. Method

The research method is applied in terms of purpose and analytical-exploratory in nature. The statistical population of the study includes experts and specialists in urban issues of District 5 of the Tehran Municipality and its sub-district 3. Due to the unknown size of the statistical population, the sample size was determined to be 60 individuals using Cohen's method, with access to them based on a snowball sampling pattern. It is worth noting that according to the snowball method, initially 6 people were selected as the initial sample, then 19 people were introduced through the first group, and finally 35 people were introduced through the second group as the sample, totaling 60 individuals. Furthermore, for data analysis, structural equation modeling using Amos software and the DEMATEL multi-criteria decision-making technique were employed. The study area is the Punak neighborhood in sub-district three of District 5 of the Tehran Municipality, which itself is divided into two neighborhoods: North Punak and South Punak.

### 3. Results

The research findings indicate that the variables of infrastructure robustness and their placement and accessibility, with a critical value greater than 1.96 at a 95% confidence level, are in a favorable condition in the neighborhood. In contrast, the variables of recovery and infrastructure management structure, with a critical value of less than 1.96, are in an unfavorable condition. Furthermore, the variable of infrastructure management structure has the greatest influence, while the variable of infrastructure recovery is the most influenced. The results also show that the recovery variable is an effect variable, whereas the variables of infrastructure management structure, robustness, and placement and accessibility are cause variables. Therefore, in order to enhance the resilience of critical infrastructure in the neighborhood, a systematic approach is needed in the management structure of infrastructures, their strengthening and positioning, as well as an emphasis on effective recovery patterns.

#### 4. Discussion and Conclusion

Today, assessing the resilience of critical infrastructure, especially at the local scale which is the primary level of urban planning and development, is an unavoidable necessity. In this regard, effective risk management actions by local governments, identification of local capacities, and independent, bottom-up management have been cited as necessities for making urban areas resilient. On the other hand, in the management and planning of infrastructure resilience, four principles—robustness, redundancy, resourcefulness, and rapidity—must be considered. Furthermore, the resilience of a system and community is strongly influenced by its infrastructure's ability to recover after critical situations. In this context, three recovery patterns—structural recovery, functional recovery, and transformational recovery—are effective in infrastructure resilience. Finally, the three fundamental levels of making infrastructure resilient include prevention, monitoring, and recovery. Additionally, using resilience management and planning assessment methods for critical infrastructure, the Punak neighborhood is in a favorable condition due to its robust infrastructure and avoidance of secondary hazards. Redundancy, resourcefulness, and rapidity in this neighborhood are in an unfavorable condition due to the lack of emergency scenarios and adequate support to optimize the time to return to the original state. From the perspective of structural recovery and the creation of new infrastructure, the condition of the Punak neighborhood is favorable. However, in terms of transformational recovery (innovation in infrastructure) and functional recovery (functional recovery of vulnerable infrastructure and functional diversity of infrastructure), the neighborhood's condition is unfavorable. On the other hand, in this view, persistence and recovery have been identified as the two main elements of infrastructure resilience, and by improving the system efficiency index and the system efficiency recovery time, the prerequisites for the resilience of the Punak neighborhood from an infrastructure perspective must be provided.

**Keywords:** Resilience, Critical infrastructure, Tehran metropolis, Punak neighborhood, Management.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری، سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، شماره پیاپی ۳۰

## ارزیابی مدیریت زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری (مطالعه موردی: محله ی پونک تهران)<sup>۱</sup>

محمد زنگنه (دانشجوی دکتری گروه شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران)

eng.m.zanganeh@gmail.com

مهسا فرامرزی اصلی (استادیار گروه معماری و شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، نویسنده مسئول)

faramarzi@iaut.ac.ir

حسن ستاری ساریانقلی (دانشیار گروه معماری و شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران)

sattari\_hassan@yahoo.com

تاریخ تصویب: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

صص ۱۵۹-۱۳۹

### چکیده

یکی از چالش‌های اساسی در دستیابی به پایداری شهرها مخاطرات طبیعی و غیرطبیعی است که در صورت عدم آگاهی و آمادگی لازم می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری وارد نماید. زیرساخت‌های حیاتی عاملی مهم در افزایش خسارات و از ارکان اصلی بازیابی اثرات مخاطرات محسوب می‌گردد و تاب‌آور ساختن آنها از ضروریات برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌گردد. تحقیق حاضر برای ارزیابی مدیریت زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری در محله ی پونک تهران نگارش شده است. روش تحقیق از منظر هدف کاربردی و از منظر ماهیت تحلیلی-اکتشافی است که به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل‌سازی معادلات ساختاری در نرم‌افزار Amos و برای بررسی وضعیت موجود محله از تکنیک دیمتل جهت بررسی اثرگذاری و اثرپذیری مؤلفه‌ها استفاده گردید. جامعه آماری شامل متخصصین شهری منطقه ۵ شهرداری تهران می‌باشد که حجم نمونه با استفاده از روش کوهن ۶۰ نفر تعیین شده است. یافته‌های تحقیق مبین آن است که متغیرهای استحکام زیرساخت‌ها و استقرار و دسترسی آنها با مقدار بحرانی بیشتر از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای وضعیت مطلوب و متغیرهای بازیابی و ساختار مدیریت زیرساخت‌ها با مقدار بحرانی کمتر از ۱/۹۶ دارای وضعیت نامطلوبی در محله می‌باشند. همچنین متغیر ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها از بیشترین تأثیرگذاری و متغیر بازیابی زیرساخت‌ها از بیشترین تأثیرپذیری برخوردار هستند. نتایج نیز نشان می‌دهد که متغیر بازیابی معلول و متغیرهای ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها، استحکام و استقرار و دسترسی متغیر علی می‌باشند. بنابراین در راستای ارتقاء تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی محله نیاز به رویکرد نظام‌مند در ساختار مدیریت زیرساخت‌ها، مقاوم‌سازی و جانمایی آنها و تأکید بر الگوهای بازیابی مؤثر احساس می‌گردد.

**کلیدواژه‌ها:** تاب‌آوری، زیرساخت‌های حیاتی، کلان‌شهر تهران، محله ی پونک، مدیریت.

<sup>۱</sup>. مقاله ی حاضر مستخرج از رساله ی دکتری تحت عنوان تحلیل ارتباط زیست‌پذیری و تاب‌آوری با تأکید بر زیرساخت‌های شهری، نمونه موردی محله ی پونک تهران با همکاری نویسندگان می‌باشد.

## ۱. مقدمه

طبق گزارش سازمان ملل متحد<sup>۱</sup> (۲۰۱۸)، تقریباً ۵۵ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود که این تعداد تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد افزایش یابد. شهرنشینی سریع و فقدان سیاست‌ها و شیوه‌های تاب‌آوری منسجم و متناسب احتمالاً تأثیرات بلایای طبیعی را در مناطق شهری در آینده تشدید خواهد کرد (کندی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۴۴؛ شاکر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹، ص. ۲؛ سیتکو و ماسلا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۹، ص. ۴). بنابراین ایجاد و افزایش تاب‌آوری جامعه در برابر مخاطرات مختلف به یک "ضرورت ملی" به‌ویژه در مناطق شهری تبدیل شده است (پارکر<sup>۵</sup>، ۲۰۲۰، ص. ۲) و سیاست‌گذاران، متخصصان حرفه‌ای و محققان مفهوم تاب‌آوری را مطرح کرده‌اند تا توانایی جوامع خود را برای بازگشت، سازگاری و ادامه عملکرد در مواجهه با بلایا افزایش دهند (آکادمی‌های ملی علوم<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹، ص. ۲، مؤسسه ملی استاندارد و فناوری<sup>۷</sup>، ۲۰۱۶، ص. ۱). در این بین یکی از مهمترین ابعادی که بایستی در برنامه‌ها و طرح‌های تاب‌آوری به آن توجه گردد، زیرساخت‌های حیاتی می‌باشد. سیستم‌های زیرساخت حیاتی، کالاها و خدمات حیاتی مانند انرژی، آب، بانک/مالی، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های خدمات اضطراری را ارائه می‌کنند (راهبرد بین‌المللی کاهش سوانح سازمان ملل متحد<sup>۸</sup>، ۲۰۲۰، ص. ۱؛ هاینس<sup>۹</sup>، ۲۰۲۰، ص. ۱۷۵) و شبکه‌ای به هم متصل می‌باشند. اختلال یا تخریب سیستم‌های زیرساختی حیاتی می‌تواند سلامت، امنیت و اقتصاد را از مقیاس محلی تا جهانی تهدید کند (لیانگ و کانگ<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۱، ص. ۷۲). بنابراین تدوین استراتژی‌هایی که بتوانند تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی را تسهیل کنند، برای حفظ عملکرد این سیستم‌ها به‌ویژه در مقیاس محلی ضروری می‌باشد (اویانگ<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۴، ص. ۴۳).

برخی از پژوهش‌های مرتبط با موضوع تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری به عنوان پیشینه تحقیق شامل موارد زیر می‌باشند. کریمی و جلیلی صدرآباد (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای با بررسی جایگاه شاخص‌های تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری در فرآیند چرخه‌ای تاب‌آوری و درهم‌کنش آن‌ها از نظر متخصصان به این نتایج رسیده‌اند که تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری دارای چرخه‌ی پیش‌گیری، جذب، بازیابی و سازگاری می‌باشد. همچنین از بین شاخص‌ها به ترتیب مدت زمان بازگشت به شرایط اولیه، میزان جذب، میزان وابستگی متقابل، مقاومت و کیفیت طراحی ساختاری، برخورداری از زیرساخت‌های پشتیبان و حیاتی، منابع در دسترس، توانایی جایگزینی، توزیع فضایی، موقعیت مکانی، میزان سرانه‌ی مصرف و امکان استفاده‌ی چندمنظور دارای اهمیت

1. UN

2. Kennedy

3. Shaker

4. Sitco &amp; Massella

5. Parker

6. NAS (National Academies of Sciences)

7. NIST (National Institute for Standards and Technology)

8. UNDRR

9. Hynes

10. Liang and Kang

11. Ouyang

می‌باشند. علیزاده (۱۴۰۰)، در تحقیق خود با تحلیل و شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهری بر اساس مدل چرخه‌ی سازگاری تاب‌آوری (RAC) در کلان‌شهر اهواز به این نتایج دست یافته است که زیرساخت حیاتی برق نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی و بازیابی مجدد، زیرساخت حیاتی مخابرات نیازمند ایجاد ظرفیت رشد و زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل نیازمند ایجاد ظرفیت توسعه در این کلان‌شهر هستند. ولس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، در تحقیق خود با عنوان مدل‌سازی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در برابر تهدیدات ترکیبی: مروری بر ادبیات سیستماتیک با بررسی مراحل تاب‌آوری (آماده‌سازی، جذب، بازیابی و سازگاری) و حوزه‌های سیستمی (فیزیکی، اطلاعاتی، شناختی، اجتماعی) به این نتایج رسیده‌اند که ادبیات موجود بر جذب تهدیدات ترکیبی توسط زیرساخت‌های حیاتی، به‌ویژه در حوزه‌های فیزیکی و اطلاعاتی متمرکز شده است. نتایج همچنین شکاف بالقوه‌ای را در ترکیب مدل‌های علم شبکه از مراحل تاب‌آوری آماده‌سازی و انطباق شناسایی کرده است، که نشان‌دهنده‌ی فرصتی بالقوه برای روش‌های علم شبکه برای ادغام هر چهار مرحله در مدل‌های انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی است. شا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای تحت عنوان تاب‌آوری اجتماعی به بررسی استراتژی‌های بازسازی زیرساخت‌های اجتماعی در شهرهای کوچک چین بر اساس تحلیل شبکه‌های اجتماعی پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دولت‌های محلی با سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری اجتماعی، کاهش هزینه‌ی سیاست‌های بازسازی را موجب می‌شوند. بنابراین بازسازی زیرساخت‌های اجتماعی بایستی با استقرار بودجه در یک شبکه‌ی جامع در نظر گرفته شود. علاوه بر این، برنامه‌های تاب‌آوری زیرساخت‌های اجتماعی بایستی همسو با تاب‌آوری زیرساخت‌های فیزیکی باشد تا برنامه‌ریزی پویا و ظرفیت بازسازی پایدار در دولت‌های محلی افزایش یابد.

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی یک شهر را فراتر از مباحث کالبدی و توسعه‌دهنده می‌توان در دو دسته‌ی عمده‌ی شریان‌های حیاتی مبتنی بر انرژی (برق، آب، گاز) و شریان‌های حیاتی مبتنی بر ارتباطات (حمل‌ونقل و مخابرات) تقسیم‌بندی کرد (کولیر و ونابلس<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶، ص. ۳۲۲). همچنین زیرساخت‌های حیاتی<sup>۴</sup> (CIP) به گونه‌ای از زیرساخت‌ها اطلاق می‌گردد که عدم عملکرد آنها یا کمبود آنها موجب ناتوانی در امنیت اقتصادی و دفاعی می‌شود (فاندیشینز<sup>۵</sup>، ۱۹۹۷، ص. ۱). اگرچه در کشورهای مختلف، موارد متفاوتی به‌عنوان زیرساخت‌های حیاتی شناخته می‌شود، اما زیرساخت‌های مخابراتی، قدرت، حمل‌ونقل، سامانه‌های تأمین آب، نفت و گاز، خدمات دولتی و مالی و خدمات اضطراری تقریباً در تمام دنیا در این فهرست قرار گرفته‌اند (کومفورت، ۲۰۲۰، ص. ۱۷؛ راس<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰، ص. ۲۴). این زیرساخت‌های حیاتی تا حد زیادی به یکدیگر متصل و درواقع وابسته هستند (امینی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ص. ۳).

1. Wells
2. Sha
3. Collier and Venables
4. Critical infrastructure systems
5. Foundations
6. Rass
7. Amini



همچنین با بررسی ادبیات نظری می‌توان گفت که دیدگاه‌های مختلفی در راستای زیرساخت‌های تاب‌آور بیان شده است. برونو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳)، استواری، افزونگی، تدبیر و سرعت را از ویژگی‌های زیرساخت‌های تاب‌آور عنوان کرده‌اند. اویانگ و همکاران (۲۰۱۲)، بیان داشته‌اند که تاب‌آوری زیرساخت‌ها ناشی از سه عامل اساسی یعنی بازیابی ساختاری، بازیابی عملکردی و بازیابی تحول‌گرا می‌باشد. به عقیده‌ی کیملارو<sup>۲</sup> (۲۰۱۶)، یکی از مهم‌ترین کارکردهای تاب‌آوری یک سیستم یا جامعه، توان بازیابی زیرساخت‌های آن پس از شرایط بحرانی است. بازیابی نقطه عطفی در فرایند کارکردی و کارایی زیرساخت‌های سیستم تاب‌آور است که سرعت عمل و بازگشت به شرایط اولیه را ارزیابی می‌کند. در این فرایند سرعت عمل و زمان سپری‌شده در مانایی و ضعف سیستم‌ها برای ارزیابی توان بازگشت یا بازیابی آنها نقشی اساسی دارد.

درنهایت می‌توان بیان داشت که با توجه به اهمیت تاب‌آور نمودن زیرساخت‌های حیاتی به‌ویژه در مقیاس محلی با توجه به ضرورت برنامه‌ریزی پایین به بالا، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی مدیریت زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری در محله‌ی پونک تهران می‌باشد. محله‌ی پونک در شمال غرب تهران یکی از مناطق نسبتاً جدید با زیرساخت‌های نسبتاً مناسب، مانند شبکه معابر عریض، تراکم جمعیت پایین و فضاهای باز شهری گسترده می‌باشد. با این حال، افزایش سریع جمعیت و تراکم ساختمانی آن از یک سو و نبود رویکرد برنامه‌ریزی پایین به بالا (محلی) با ظرفیت‌سنجی و برنامه‌ریزی استراتژیک از سوی دیگر می‌تواند آسیب‌پذیری محله را در برابر انواع بحران‌ها افزایش دهد. همچنین در رویکرد تاب‌آوری نیاز به زیرساخت‌های حیاتی با مانایی بالا، توانایی بازیابی و سرعت مناسب در بازگشت به حالت اولیه نیاز است و با توجه با این موضوع، پاسخگویی به سؤال‌های زیر اساس کار پژوهش حاضر می‌باشد:

- مدیریت و برنامه‌ریزی زیرساخت‌های حیاتی در محله‌ی پونک در چه وضعیتی قرار دارند؟
- مهمترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در محله‌ی پونک تهران کدامند؟

## ۲. روش شناسی

با توجه به اینکه تحقیق حاضر به دنبال بررسی وضعیت موجود مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری محله‌ی پونک کلان‌شهر تهران از منظر زیرساخت‌های حیاتی می‌باشد، بنابراین روش پژوهش از منظر هدف کاربردی و از منظر ماهیت تحلیلی-اکتشافی است. جامعه‌ی آماری پژوهش نیز کارشناسان و متخصصین مسائل شهری منطقه ۵ شهرداری تهران و ناحیه‌ی ۳ این منطقه را شامل می‌شود که با توجه به مشخص نبودن تعداد جامعه‌ی آماری، حجم نمونه با استفاده از روش کوهن ۶۰ نفر تعیین گردیده است که روش دسترسی به آنها بر مبنای الگوی گلوله‌برفی می‌باشد. قابل ذکر است که با توجه به روش گلوله‌برفی ابتدا ۶ نفر به عنوان حجم نمونه اولیه انتخاب شده، سپس ۱۹ نفر از طریق گروه اول و درنهایت ۳۵ نفر از طریق گروه دوم به عنوان حجم نمونه

1. Bruneau

2. Cimellaro

معرفی شده‌اند که در مجموع ۶۰ نفر را شامل می‌شود. همچنین در راستای تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل‌سازی معادلات ساختاری در نرم‌افزار Amos و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی دیمتل<sup>۱</sup> استفاده شده است.

فرمول کوهن:

رابطه‌ی (۱):

$$n = (z^2 \times s^2) / d^2$$

در این فرمول Z یک مقدار ثابت است که به فاصله‌ی اطمینان و سطح خطا ( $\alpha$ ) بستگی دارد. با توجه به تعیین فاصله‌ی اطمینان ۹۵ درصد بنابراین d برابر ۰/۰۵ و Z برابر با ۱/۹۶ می‌باشد. S نیز واریانس نمونه‌ی اولیه می‌باشد که با پرسشگری از ۲۰ نمونه‌ی اولیه از حجم نمونه به دست می‌آید. بر مبنای محاسبات صورت گرفته واریانس نمونه‌ی اولیه ۰/۱۹۷ به دست آمده و با جاگذاری در فرمول فوق حجم نمونه ۶۰ نفر برآورد شده که روش دسترسی به این حجم نمونه بر مبنای روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند بوده است.

$$n = (3/8416 \times 0/03884) \div 0/0025 = 60$$

لازم به ذکر است که قلمرو این پژوهش در ابعاد زمانی و مکانی به پاییز ۱۴۰۲ در محله‌ی پونک مربوط می‌باشد. همچنین برای سهولت کار تمام متغیرهای موجود در پژوهش کدبندی شده‌اند. این متغیرها با توجه به مبنای نظری تحقیق انتخاب شده‌اند.

شاخص‌های استخراج‌شده به منظور بررسی وضعیت مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری محدوده‌ی مورد مطالعه از منظر زیرساخت‌های حیاتی به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که پرسشنامه‌ی تحقیق حاضر محقق‌ساخته بوده است که مؤلفه‌های آن از طریق مطالعات اسنادی استخراج شده‌اند. از طرفی تمامی پرسشنامه‌ها با حضور مستقیم نگارندگان و توضیحات مؤلفه‌ها تکمیل گردیده‌اند.

جدول ۱. مؤلفه‌های مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی و کدبندی آنها

| مؤلفه     | گروه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | منابع                                   |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| استحکام S | آمادگی در برابر بحران (مجموعه‌ای از اقدامات طراحی شده برای بهبود آمادگی عناصر مهم زیرساختی برای یک رویداد مخرب) S1، افزونگی (توانایی جایگزینی سریع عملکرد قسمت مختل‌شده در محل از عناصر زیرساختی یا افزایش ظرفیت آن) S2، توانایی تشخیص (احتمال دادن یا زمان تشخیص یک رویداد مخرب) S3، پاسخگویی سازمان‌ها (احتمال یا زمان پاسخ منجر به حذف دلایل یک رویداد مخرب یا به حداقل رساندن تأثیرات آنها) S4، مقاومت فیزیکی (مجموعه‌ای از ابزارهای فنی و اقدامات سازمانی که به منظور تقویت مقاومت فیزیکی عناصر مهم زیرساختی در برابر حوادث مخرب طراحی شده‌اند) S5. | (برونو و همکاران، ۲۰۰۳؛ کومفورت، ۲۰۲۰). |



|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                           |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| بازیابی R                    | منابع و مواد (در دسترس بودن اجزای مورد نیاز برای تعمیر یا تعویض قطعات آسیب‌دیده یا تخریب‌شده از عناصر زیرساختی در سازمان‌ها) R1، منابع مالی سازمان‌ها (در دسترس بودن منابع مالی یا ذخایر برای بهبود سریع عناصر زیرساختی) R2، منابع انسانی (در دسترس بودن نیروی انسانی با سطح صلاحیت لازم در سازمان‌ها) R3، فرآیندهای بازیابی تعریف‌شده در سازمان‌ها (فرآیندهای تسهیل بازیابی سریع عملکردهای مورد نیاز عناصر زیرساختی) R4، برنامه‌های پشتیبانی زیرساخت‌ها (وجود رویکرد یکپارچه در بازیابی عناصر زیرساختی به هم پیوسته) R5. | (کیملارو، ۲۰۱۶).          |
| ساختار مدیریت زیرساخت‌ها IMS | سطح اجرای استانداردهای امنیتی/ایمنی در حوزه‌ی زیرساخت‌ها IMS1، وجود سناریوهای اضطراری که پایه و اساس توسعه‌ی برنامه‌ی احتمالی زیرساخت‌ها است IMS2، تنوع طراحی و عددی زیرساخت‌ها IMS3، میزان ارتباط و پیوستگی ساختاری زیرساخت‌ها IMS4، کنترل و پایش مستمر شبکه‌ی زیرساختی IMS5.                                                                                                                                                                                                                                            | (اویانگ و همکاران، ۲۰۱۲). |
| استقرار و دسترسی DA          | برخورداری از خطوط آب و انرژی مناسب DA1، نحوه‌ی توزیع فضایی شبکه‌های آب و انرژی با عملکردهای ناسازگار DA2، فاصله‌ی هندسی مناسب زیرساخت‌ها نسبت به یکدیگر DA3، استقرار مرکز قطع و وصل خطوط آب و انرژی در سطح محلی DA4، وجود نقشه‌ی مناسب از موقعیت استقرار انواع خطوط و شبکه‌های زیرساختی DA5.                                                                                                                                                                                                                              | (کولیر و ونابلس، ۲۰۱۶).   |

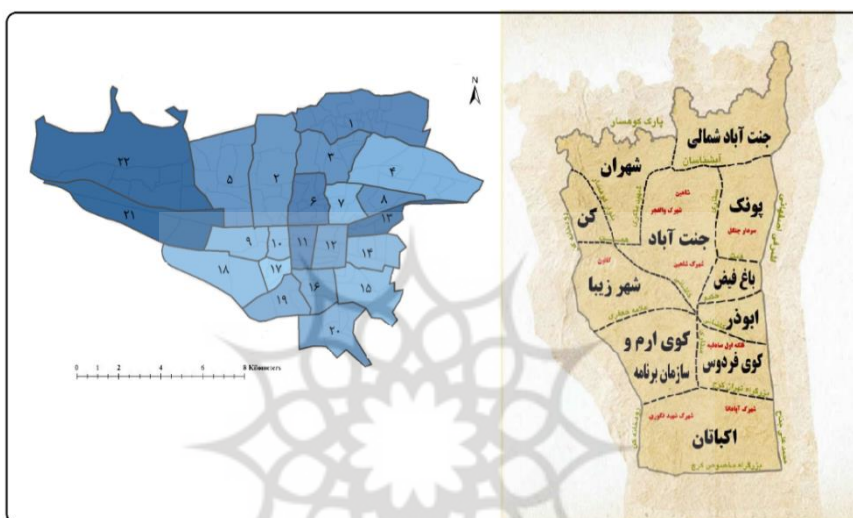
همچنین با توجه به دیدگاه‌های نظری می‌توان روش‌های ارزیابی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی را به شرح شکل شماره ۱ ترسیم نمود.



شکل ۱. ارزیابی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری با تأکید بر زیرساخت‌های شهری

محدوده‌ی مورد مطالعه، محله‌ی پونک در ناحیه‌ی سه، منطقه پنج شهرداری تهران واقع گردیده است که خود به دو محله‌ی پونک شمالی و پونک جنوبی تقسیم می‌گردد. محله‌ی پونک شمالی، از شمال به بزرگراه شهید آب‌شناسان و محله‌ی المهدی، از جنوب به بلوار شهید میرزا بابایی و پونک جنوبی، از شرق به بزرگراه

اشرفی اصفهانی و از غرب به بزرگراه شهید سرلشکر ستاری و محله‌ی شاهین محدود می‌گردد. محله‌ی پونک جنوبی نیز از شمال به خیابان شهید میرزابابی و محله‌ی پونک شمالی، از شرق به بزرگراه اشرفی اصفهانی و منطقه دو شهرداری تهران، از جنوب به محله‌ی باغ فیض و بزرگراه شهید همت و از غرب به بزرگراه شهید ستاری و محله‌ی جنت‌آباد مرکزی محدود می‌گردد. جمعیت محله بر اساس آخرین شماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، ۲۲۰۰۰ نفر تخمین زده شده است.



شکل ۲. موقعیت منطقه ۵ تهران و محلات آن

### ۳. یافته‌ها

به منظور بررسی وضعیت محله‌ی پونک از منظر مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها از نرم‌افزار مدل‌سازی معادلات ساختاری در نرم‌افزار AMOS گرافیک استفاده شده است. برای این منظور ابتدا ارتباط ساختاری جزئی برای این رابطه و سپس صورت کلی و نهایی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارتباط ساختاری جزئی یا درونی به ارزیابی ارتباط ساختاری ناشی از معیارهای استحکام، بازیابی، استقرار و دسترسی و ساختار مدیریت زیرساخت‌ها به عنوان متغیر مستقل و تحقق تاب‌آوری زیرساختی در محله‌ی پونک به عنوان متغیر وابسته بوده که برای ورود به بحث کلی و نهایی ابتدا مورد آزمون جداگانه قرار گرفته است.

جدول ۲. تحلیل پایایی متغیرهای مستقل و وابسته

| متغیرها                        | CR <sup>۱</sup> | AVE <sup>۲</sup> | CA <sup>۳</sup> | IR     | S      | R      | IMS    | DA    |
|--------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| تاب‌آوری زیرساختی (IR)         | ۰/۷۲            | ۰/۶۳۷            | ۰/۸۵            | ۰/۸۲۷  | -      | -      | -      | -     |
| استحکام (S)                    | ۰/۷۴            | ۰/۶۵۹            | ۰/۸۲            | ۰/۵۷۱* | ۰/۸۰۹  | -      | -      | -     |
| بازیابی (R)                    | ۰/۷۵            | ۰/۶۸۱            | ۰/۷۷            | ۰/۶۴۹* | ۰/۶۱۹* | ۰/۸۱۴  | -      | -     |
| ساختار مدیریت زیرساخت‌ها (IMS) | ۰/۷۸            | ۰/۶۶۳            | ۰/۷۳            | ۰/۶۷۱* | ۰/۶۵۴* | ۰/۵۸۸* | ۰/۷۷۲  | -     |
| استقرار و دسترسی (DA)          | ۰/۸۱            | ۰/۶۴۸            | ۰/۷۱            | ۰/۵۹۷* | ۰/۶۰۸* | ۰/۶۳۵* | ۰/۵۶۴* | ۰/۷۹۳ |

\*p &lt; 0.05.

ورود عوامل تبیین‌کننده‌ی ارتباط ساختاری برای ارزیابی وضعیت موجود مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساختی در محله‌ی پونک نشان می‌دهد میزان پایایی ترکیبی (CR) و ضریب پایایی (CA) به‌دست آمده بیش از ۰/۷ و میزان میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) که در قطر خطی جدول شماره ۲ مشخص شده است بیش از ۰/۶ می‌باشد. همچنین همبستگی متغیرهای تحقیق که با رنگ تیره مشخص گردیده است در بازه ۰/۷۷ تا ۰/۸۳ بوده که ورود عوامل برای تبیین مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساختی محله‌ی پونک را به میزان قابل ملاحظه‌ای تشریح می‌کند.

جدول ۳. آماره‌ی ساختار عاملی تأییدی ارتباط ساختاری متغیرهای مستقل و وابسته

| متغیرها                        | $\chi^2$ | df | P     | $\chi^2/df$ | CFI   | IFI   | RMSEA |
|--------------------------------|----------|----|-------|-------------|-------|-------|-------|
| تاب‌آوری زیرساختی (IR)         | ۱۳۶/۲۹   | ۵۹ | ۰/۰۰۰ | ۲/۳۱        | ۰/۹۱۴ | ۰/۹۳۱ | ۰/۰۳  |
| استحکام (S)                    | ۱۳۹/۸۳   | ۵۹ | ۰/۰۰۰ | ۲/۳۷        | ۰/۹۴۱ | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۲  |
| بازیابی (R)                    | ۱۴۱/۰۱   | ۵۹ | ۰/۰۰۱ | ۲/۳۹        | ۰/۹۲۷ | ۰/۹۴۴ | ۰/۰۵  |
| ساختار مدیریت زیرساخت‌ها (IMS) | ۱۴۳/۳۷   | ۵۹ | ۰/۰۰۰ | ۲/۴۳        | ۰/۹۱۹ | ۰/۹۲۵ | ۰/۰۳  |
| استقرار و دسترسی (DA)          | ۱۴۵/۱۴   | ۵۹ | ۰/۰۰۲ | ۲/۴۶        | ۰/۹۳۰ | ۰/۹۳۶ | ۰/۰۴  |

مهم‌ترین سنجه‌های شکل‌دهنده‌ی آماری در ساختار عاملی تأییدی سنجه‌ی خی‌دو یا کای اسکوتر ( $\chi^2$ ) نسبت کای اسکوتر بر درجه آزادی، شاخص برازش تطبیقی<sup>۴</sup> (CFI) و شاخص برازش افزایشی<sup>۵</sup> (IFI) و در نهایت ریشه‌ی میانگین مربعات تقریبی<sup>۶</sup> (RMSEA) می‌باشد. این سنجه‌ها دارای مقدار معینی بوده که تحلیل

1. Composite Reliabilities

2. Average Variance Extracted

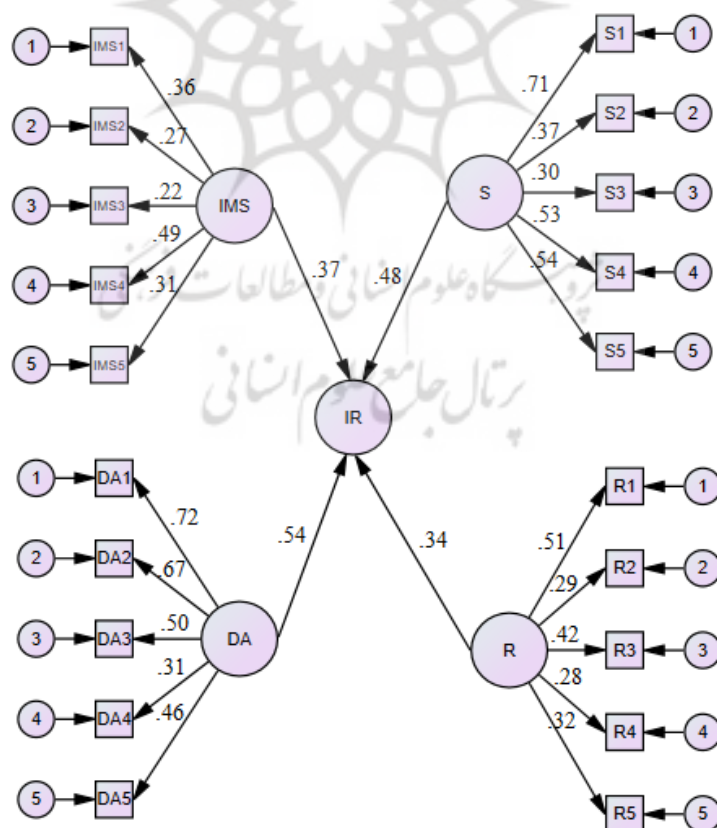
3. Cronbach's Alpha

4. Comparative Fit Index

5. Incremental Fit Index

6. Root-Mean-Square-Error of Approximation

را معنادار ساخته و به تشریح ارتباط ساختاری متغیرهای به دست آمده می پردازد. به علت متورم شدن میزان کای اسکوئر در نمونه های تحلیلی، اکثر تحلیل گران از نسبت کای اسکوئر بر درجه آزادی استفاده می کنند که نمونه های دقیق تحلیل شده برای شناسایی ساختار را به دست می دهد. مقدار این نسبت باید ترکیب نیمی از داده ها را دربر گیرد. به دیگر سخن نباید کمتر از دو باشد تا بتوان به معناداری داده های به کار رفته اطمینان داشت. نتایج تحلیل ساختار ارتباطی سه متغیر شناسایی شده در این سنجه نشان از قابل قبول بودن آن دارد. شاخص های برازش تطبیقی و افزایشی مطابق با استانداردهای آماری تعیین شده هرچه به سمت ۱ میل کنند برازش از سطح نکویی بالایی برخوردار خواهد بود. نتایج این دو شاخص برای متغیرها و تبیین ارتباط ساختاری آنها قابل قبول به دست آمده است. شاخص ریشه ی دوم میانگین مربعات خطای برآورد یا RMSEA نیز آخرین سنجهی ساختارشناسی در این مرحله است که در الگوهای قابل قبول مقدار  $0/08$  یا کمتر دارد. برازش الگوهایی که مقادیر بالاتر از  $0/1$  دارند، ضعیف برآورد می شوند. همان طور که در جدول شماره ۳ مشاهده می شود، مقدار این شاخص برای الگوی اندازه گیری کمتر از  $0/08$  است که نشان دهنده ی برازش مناسب الگوها، توسط داده ها است. در نهایت، با توجه به مطالب یاد شده می توان نتیجه گرفت الگوهای اندازه گیری برازش خوبی دارند و به این معناست که متغیرهای آشکار به خوبی می توانند متغیرهای پنهان را اندازه گیری کنند.



شکل ۳. ساختار ارتباطی وضعیت مدیریت و برنامه ریزی تاب آوری زیرساخت های حیاتی در محله ی پونک تهران

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تحقق‌پذیری در بین شاخص‌های تبیین‌کننده‌ی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در محله‌ی پونک تهران به ترتیب شامل استقرار و دسترسی، استحکام، ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها و بازیابی می‌باشد که میزان امتیاز آنها بر مبنای مدل ساختاری ۰/۵۴، ۰/۴۸، ۰/۳۷ و ۰/۳۴ محاسبه شده است. همچنین در بین متغیرهای فرعی بیشترین تحقق‌پذیری مربوط به متغیرهای مقاومت فیزیکی (مجموعه‌ای از ابزارهای فنی و اقدامات سازمانی که به‌منظور تقویت مقاومت فیزیکی عناصر مهم زیرساختی در برابر حوادث مخرب طراحی شده‌اند)، منابع و مواد (در دسترس بودن اجزای مورد نیاز برای تعمیر یا تعویض قطعات آسیب‌دیده یا تخریب‌شده از عناصر زیرساختی در سازمان‌ها)، فاصله‌ی هندسی مناسب زیرساخت‌ها نسبت به یکدیگر و پاسخگویی سازمان‌ها (احتمال یا زمان پاسخ منجر به حذف دلایل یک رویداد مخرب یا به حداقل رساندن تأثیرات آنها) بوده است.

پس از بررسی و تأیید الگوهای اندازه‌گیری برای آزمون معناداری فرضیه‌ها دو شاخص جزئی مقدار بحرانی  $P$  به کار گرفته شده است. بر اساس سطح معناداری ۰/۰۵ مقدار بحرانی می‌بایست بیشتر از ۱/۹۶ باشد، مقدار پارامتر کمتر از این در الگو، با اهمیت شمرده نمی‌شود. همچنین، مقادیر کوچک‌تر از ۰/۰۵ برای مقدار  $P$  حاکی از تفاوت معنادار مقدار محاسبه‌شده برای وزن‌های رگرسیونی با مقدار صفر در سطح ۹۵ درصد اطمینان است. بر اساس نتایج مدل مقدار بحرانی برای متغیرهای استحکام و استقرار و دسترسی بیشتر از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شده است. همچنین متغیرهای بازیابی و ساختار مدیریت زیرساخت‌ها با مقدار بحرانی کمتر از ۱/۹۶ دارای وضعیت نامطلوبی در محله‌ی پونک تهران می‌باشند.

جدول ۴. آماره‌ی ساختار عاملی تأییدی ارتباط ساختاری متغیرهای مستقل و وابسته

| نتیجه | P     | مقدار بحرانی | ضریب رگرسیونی | متغیرها                  |
|-------|-------|--------------|---------------|--------------------------|
| تأیید | ۰/۰۰۹ | ۲/۸۵         | ۰/۴۲۹         | استحکام                  |
| رد    | ۰/۲۴۱ | ۰/۵۷         | ۰/۳۱۲         | بازیابی                  |
| رد    | ۰/۱۲۸ | ۱/۰۷         | ۰/۳۳۶         | ساختار مدیریت زیرساخت‌ها |
| تأیید | ۰/۰۰۳ | ۳/۱۹         | ۰/۵۰۱         | استقرار و دسترسی         |

به‌منظور بررسی مؤلفه‌های اثرگذار و اثرپذیر در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها در محله‌ی پونک نیز از بر مبنای تکنیک DEMATEL استفاده شده است.

#### الف) محاسبه‌ی ماتریس ارتباط مستقیم (M)

زمانی که از دیدگاه چند خبره استفاده می‌گردد از میانگین حسابی ساده‌ی نظرات استفاده شده و ماتریس ارتباط مستقیم یا  $M$  را تشکیل می‌دهیم. بر مبنای جدول شماره ۵ بیشترین ارتباط مستقیم، بین متغیرهای

ساختار مدیریت زیرساخت‌ها با بازیابی و کمترین ارتباط مستقیم، بین متغیرهای استقرار و دسترسی با استحکام وجود دارد.

جدول ۵. ماتریس ارتباط مستقیم M

| DA    | IMS   | R     | S     | معیارها                   |     |
|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-----|
| ۱/۳۱۵ | ۲/۴۱۷ | ۲/۵۷۱ | ۰/۰۰۰ | استحکام                   | S   |
| ۱/۵۰۹ | ۳/۰۸۱ | ۰/۰۰۰ | ۱/۶۵۲ | بازیابی                   | R   |
| ۲/۵۶۳ | ۰/۰۰۰ | ۳/۲۷۱ | ۲/۰۳۴ | ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها | IMS |
| ۰/۰۰۰ | ۲/۳۹۱ | ۲/۸۹۴ | ۱/۲۷۹ | استقرار و دسترسی          | DA  |

ب) محاسبه‌ی ماتریس ارتباط مستقیم نرمال  $N=K*M$

در این بخش، ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه شده و سپس معکوس بزرگترین عدد سطر ضرب در هر عدد M، ستون k را تشکیل می‌دهد. براساس جدول شماره ۶ بزرگترین عدد ۷/۸۸۹ است و تمامی مقادیر جدول بر معکوس این عدد ضرب می‌شود تا ماتریس نرمال شود.

رابطه‌ی (۲):

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \frac{1}{7.889} = 0.126$$

$$N=0.126*M$$

جدول ۶. ماتریس ارتباط مستقیم نرمال N

| DA    | IMS   | R     | S     | N   |
|-------|-------|-------|-------|-----|
| ۰/۱۶۶ | ۰/۳۰۴ | ۰/۳۲۴ | ۰/۰۰۰ | S   |
| ۰/۱۹۰ | ۰/۳۸۸ | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۰۸ | R   |
| ۰/۳۲۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۴۱۲ | ۰/۲۵۶ | IMS |
| ۰/۰۰۰ | ۰/۳۰۱ | ۰/۳۶۵ | ۰/۱۶۱ | DA  |

ج) محاسبه‌ی ماتریس ارتباط کامل (T)

برای محاسبه‌ی ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل را معکوس می‌کنیم. در نهایت ماتریس نرمال را در ماتریس معکوس ضرب می‌کنیم.

رابطه‌ی (۳):

$$T= N*(I-N)^{-1}$$



جدول ۷. ماتریس ارتباط کامل T

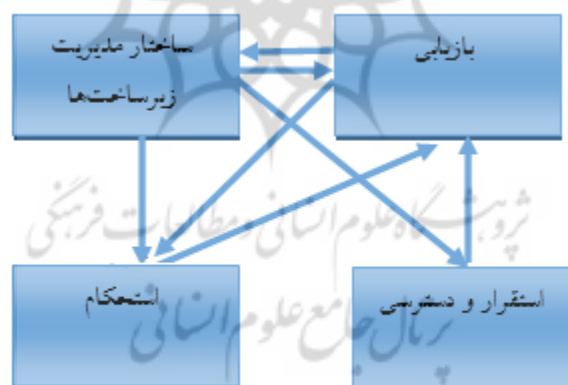
| DA    | IMS   | R     | S     | T Matrix |
|-------|-------|-------|-------|----------|
| ۰/۲۹۶ | ۰/۳۵۱ | ۰/۴۷۲ | ۰/۴۲۵ | S        |
| ۰/۳۵۹ | ۰/۴۲۳ | ۰/۳۸۴ | ۰/۵۱۱ | R        |
| ۰/۳۱۷ | ۰/۴۰۳ | ۰/۵۲۷ | ۰/۶۲۴ | IMS      |
| ۰/۲۹۷ | ۰/۳۸۴ | ۰/۴۲۶ | ۰/۳۱۹ | DA       |

## (د) تحلیل الگوی روابط علی

در جدول شماره ۸ و شکل شماره ۴ الگوی نهایی و روابط علی متغیرهای اصلی تحقیق مشخص گردیده است.

جدول ۸. الگوی روابط علی معیارهای اصلی مدل

| معیارها | D     | R     | D+R   | D-R    |
|---------|-------|-------|-------|--------|
| S       | ۴/۲۵۶ | ۳/۳۹۱ | ۷/۶۴۷ | ۰/۸۶۵  |
| R       | ۳/۸۲۴ | ۴/۱۱۷ | ۷/۹۴۱ | -۰/۲۹۳ |
| IMS     | ۵/۴۷۷ | ۳/۸۲۲ | ۹/۲۹۹ | ۱/۶۵۵  |
| DA      | ۳/۳۲۶ | ۳/۰۱۷ | ۶/۳۴۳ | ۰/۳۰۹  |



شکل ۴. الگوی روابط درونی معیارهای اصلی مدل

بر مبنای جدول شماره ۸، (D) نشانگر میزان تأثیرگذاری و (R) نشانگر میزان تأثیرپذیری هر معیار می‌باشد. در این راستا، معیار ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها از بیشترین تأثیرگذاری و معیار بازیابی از بیشترین تأثیرپذیری برخوردار می‌باشند. همچنین (D+R) نشان‌دهنده تعامل بین معیارها بوده که در این بین معیار ساختار مدیریتی زیرساخت‌ها بیشترین تعامل را با سایر معیارهای مورد مطالعه داشته است. (D-R) نیز قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طور کلی اگر (D-R) مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد معلول محسوب می‌شود. بنابراین در این مدل معیار بازیابی معلول و معیارهای ساختار مدیریتی

زیرساخت‌ها، استحکام و استقرار و دسترسی متغیر علی می‌باشند. بررسی زیرمعیارها نیز حاکی از آن است که سطح اجرای استانداردهای امنیتی/ایمنی، منابع مالی، وجود سناریوهای اضطراری و افزونگی دارای بیشترین تأثیرگذاری و منابع و مواد، فرایندهای بازیابی و منابع انسانی دارای بیشترین تأثیرپذیری می‌باشند. همچنین معیار پاسخگویی و مقاومت فیزیکی بیشترین تعامل را با سایر معیارها داشته‌اند. از بین ۲۰ معیار مورد بررسی نیز ۱۵ معیار علی و ۵ معیار معلول بوده‌اند.

جدول ۹. الگوی روابط زیر معیارها

| نماد | زیرمعیارها                                                         | D    | R    | D+R  | D-R   |
|------|--------------------------------------------------------------------|------|------|------|-------|
| S1   | آمادگی در برابر بحران                                              | ۱/۱۷ | ۱/۳۵ | ۲/۵۲ | -۰/۱۸ |
| S2   | افزونگی                                                            | ۱/۵۶ | ۱/۲۷ | ۲/۸۳ | ۰/۲۹  |
| S3   | توانایی تشخیص                                                      | ۱/۲۹ | ۱/۱۴ | ۲/۴۳ | ۰/۱۵  |
| S4   | پاسخگویی                                                           | ۱/۳۱ | ۱/۴۷ | ۳/۷۸ | -۰/۱۶ |
| S5   | مقاومت فیزیکی                                                      | ۱/۷۲ | ۱/۳۹ | ۳/۱۱ | ۰/۳۳  |
| R1   | منابع و مواد                                                       | ۱/۳۴ | ۱/۶۵ | ۲/۹۹ | -۰/۳۱ |
| R2   | منابع مالی                                                         | ۱/۹۸ | ۱/۳۱ | ۳/۲۹ | ۰/۶۷  |
| R3   | منابع انسانی                                                       | ۱/۵۲ | ۱/۴۳ | ۲/۹۵ | ۰/۰۹  |
| R4   | فرایندهای بازیابی                                                  | ۱/۲۶ | ۱/۳۸ | ۲/۶۴ | -۰/۱۲ |
| R5   | برنامه‌های پشتیبانی زیرساخت‌ها                                     | ۱/۳۴ | ۱/۴۵ | ۲/۷۹ | -۰/۱۱ |
| IMS1 | سطح اجرای استانداردهای امنیتی/ایمنی                                | ۲/۰۳ | ۱/۲۵ | ۳/۲۸ | ۰/۷۸  |
| IMS2 | وجود سناریوهای اضطراری                                             | ۱/۵۸ | ۱/۳۴ | ۲/۹۲ | ۰/۲۴  |
| IMS3 | تنوع طراحی و عددی زیرساخت‌ها                                       | ۱/۴۹ | ۱/۲۶ | ۲/۷۵ | ۰/۲۳  |
| IMS4 | میزان ارتباط و پیوستگی ساختاری زیرساخت‌ها                          | ۱/۴۷ | ۱/۳۲ | ۲/۷۹ | ۰/۱۵  |
| IMS5 | کنترل و پایش مستمر شبکه‌ی زیرساختی                                 | ۱/۵۴ | ۱/۱۷ | ۲/۷۱ | ۰/۳۷  |
| DA1  | برخورداری از خطوط آب و انرژی مناسب                                 | ۱/۳۴ | ۱/۲۵ | ۲/۵۹ | ۰/۰۹  |
| DA2  | نحوه‌ی توزیع فضایی شبکه‌های آب و انرژی با عملکردهای ناسازگار       | ۱/۳۱ | ۱/۱۹ | ۲/۵۰ | ۰/۱۲  |
| DA3  | فاصله‌ی هندسی مناسب زیرساخت‌ها نسبت به یکدیگر                      | ۱/۳۷ | ۱/۲۰ | ۲/۵۷ | ۰/۱۷  |
| DA4  | استقرار مرکز قطع و وصل خطوط آب و انرژی در سطح محلی                 | ۱/۵۴ | ۱/۰۹ | ۲/۶۳ | ۰/۴۵  |
| DA5  | وجود نقشه‌ی مناسب از موقعیت استقرار انواع خطوط و شبکه‌های زیرساختی | ۱/۴۹ | ۱/۱۸ | ۲/۶۷ | ۰/۳۱  |

## ۴. بحث

امروزه ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی به‌ویژه در مقیاس محلی که سطح اولیه‌ی برنامه‌ریزی و توسعه‌ی شهری است، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این راستا، دی بروجین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، اقدامات مؤثر مدیریت ریسک توسط دولت‌های محلی، بورسکووا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، شناسایی ظرفیت‌های محلی، پینسکووار<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، مدیریت مستقل و پایین به بالا را از ضرورت‌های تاب‌آور ساختن مناطق شهری بیان کرده‌اند. از طرفی، در مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها، بر اساس نظر بروئو و همکاران (۲۰۰۳)، چهار اصل استواری، افزونگی، تدبیر و سرعت بایستی مدنظر قرار گیرد. همچنین کیملاو (۲۰۱۶)، تاب‌آوری یک سیستم و جامعه را به شدت متأثر از توان بازیابی زیرساخت‌های آن پس از شرایط بحرانی عنوان کرده است. وی در این زمینه سه الگوی بازیابی ساختاری، بازیابی کارکردی و بازیابی تحول‌گرا را در تاب‌آوری زیرساخت‌ها مؤثر دانسته است. در نهایت از دیدگاه اویانگ و همکاران (۲۰۱۲)، سه سطح اساسی تاب‌آور ساختن زیرساخت‌ها شامل پیشگیری، پایش و بازیابی می‌باشد. همچنین با استفاده از روش‌های ارزیابی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی که در شکل شماره ۱ ارائه گردید، از نظر استواری محله‌ی پونک با توجه به زیرساخت‌های مقاوم و اجتناب از خطرات جانبی در وضعیت مطلوبی قرار دارد. افزونگی، تدبیر و سرعت در این محله با توجه به عدم وجود سناریوهای اضطراری و پشتیبانی مناسب در راستای بهینه‌سازی زمان برگشت به حالت اولیه در وضعیت نامطلوبی قرار دارد.

همچنین از منظر بازیابی ساختاری و ایجاد زیرساخت‌های نو وضعیت محله‌ی پونک مطلوب ارزیابی گردیده است. با این حال در ابعاد بازیابی تحول‌گرا (نوآوری در زیرساخت‌ها) و همچنین بازیابی کارکردی (بازیابی عملکردی زیرساخت‌های آسیب‌پذیر و تنوع کارکردی زیرساخت‌ها) وضعیت محله نامطلوب می‌باشد. از طرفی در این دیدگاه مانایی و بازیابی دو عنصر اصلی تاب‌آوری زیرساخت‌ها عنوان شده‌اند که بایستی با ارتقاء شاخص کارایی سیستم و زمان بازیابی کارایی سیستم، مقدمات تاب‌آوری محله‌ی پونک از منظر زیرساخت‌ها فراهم گردد.

در نهایت در محله‌ی پونک پیشگیری تا حد نسبتاً مطلوبی رعایت شده است و بایستی با کوتاه نمودن زمان پایش و بازیابی زیرساخت‌ها به ارتقاء کارایی زیرساخت‌ها و مانایی آنها اقدام نمود.

بررسی وضعیت موجود زیرساخت‌های حیاتی از دیدگاه مسئولان و کارشناسان شهری نیز حاکی از آن است که از منظر استحکام وضعیت مطلوب می‌باشد. از منظر استقرار نیز فاصله‌ی خطوط مختلف گاز و آب مطلوب بوده است. مرکز توزیع گاز و انتقال برق در فاصله‌ی مناسبی از محله قرار گرفته‌اند.

همچنین نتایج پژوهش حاضر تأییدی از نتایج پژوهش کریمی و جلیلی صدرآباد (۱۳۹۸) و ولس و همکاران (۲۰۲۲) در راستای نقش پیش‌گیری، پایش و بازیابی، علیزاده (۱۴۰۰) نقش مانایی، پنگ و همکاران (۲۰۱۷)

بهره‌مندی از رویکردهای جامع و سیستمی و کاپوکو و همکاران (۲۰۲۳) نقش تداوم عملیات در تاب‌آوری زیرساخت‌ها می‌باشد. تفاوت پژوهش حاضر با پیشینه‌ی مطالعاتی نیز، بهره‌مندی از رویکردهای ترکیبی در این تحقیق به‌منظور سنجش و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها است. همچنین به عنوان پیشنهاد پژوهشی آینده، می‌توان به بررسی ابعاد مختلف تاب‌آوری در سطوح محلی اشاره کرد که می‌تواند مقدمات برنامه‌ریزی استراتژیک تاب‌آوری را مهیا سازد. از طرفی بررسی تطبیقی محلات نیز از منظر تاب‌آوری و شناخت تفاوت‌ها، می‌تواند در اولویت پژوهشی قرار گیرد.

## ۵. نتیجه‌گیری

امروزه، تعریف چارچوب برنامه‌ریزی تاب‌آوری شهرها مورد تأکید سازمان‌های بین‌المللی و صاحب‌نظران مختلف بوده است. با این حال، بهره‌گیری از برنامه‌های تاب‌آوری در سطح دولت‌های محلی همچنان یک چالش جدی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. در این راستا، بایستی ابتدا به اعطای قدرت اختیار و امکانات به دولت‌های محلی مبادرت نموده و سپس با بررسی وضعیت موجود و ظرفیت‌سنجی، اقدامات مقتضی صورت گیرد. بدین منظور پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری در محله‌ی پونک تهران با تأکید بر زیرساخت‌های شهری نگارش شده است. می‌توان عنوان کرد که با غلبه‌ی رویکرد تاب‌آوری در مباحث مربوط به حفاظت و نگهداری از زیرساخت‌های حیاتی در برابر مخاطرات انسانی و طبیعی، توجه به ظرفیت مانایی، سازگاری و انعطاف‌پذیری سیستم‌های زیرساختی در برابر شرایط سخت ایجادشده و زمان پاسخ و بازیابی و برگشت به حالت اولیه اهمیت دوچندانی یافته است. با این حال، در محله‌ی پونک تنها مانایی زیرساخت‌ها در حالت مطلوب بوده و سازگاری و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها نیازمند بازنگری در اقدامات و برنامه‌های نظام مدیریت منطقه می‌باشد. به عبارتی پایش و بازیابی به‌عنوان دو عنصر مهم برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها، بایستی در برنامه‌های نظام مدیریتی محدوده گنجانده شود. عدم توجه به این عناصر در مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری زیرساخت‌ها علاوه بر تخریب آنها در مواقع بحرانی موجبات افزایش خسارات مالی و جانی خواهد گردید. بنابراین ضروری است در راستای جلوگیری از اثرات انواع بحران و مخاطرات ضمن توجه به مانایی و استحکام زیرساخت‌های محله، پایش مستمر آنها در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و توجه به رویکردهای بازیابی در مواقع بحرانی توجه گردد.

در پژوهش حاضر که نوآوری آن نیز تلقی می‌گردد، مؤلفه‌های ارزیابی مدیریت و برنامه‌ریزی تاب‌آوری با تأکید بر زیرساخت‌های شهری در محله‌ی پونک از طریق رویکرد و پارادایم ترکیبی و دیدگاه‌های مختلف استخراج شده‌اند، به عبارتی علاوه بر سه اصل پیشگیری، پایش و بازیابی در زیرساخت‌های شهری، از الگوهای بازیابی تحول‌گرا، کارکردی و ساختاری و همچنین الگوهای تاب‌آوری زیرساخت‌ها در ابعاد استواری، افزونگی، تدبیر و سرعت استفاده شده است. همچنین از موانع پیش روی انجام پژوهش حاضر می‌توان به عدم توجه برخی از نمونه‌ی آماری در راستای مؤلفه‌های مورد بررسی و زمان‌بر شدن آن اشاره داشت.

- با توجه به وضعیت موجود محله از منظر تاب‌آوری زیرساخت‌ها و در راستای دستیابی به وضعیت مطلوب می‌توان راهکارهای زیر را ارائه داد:
- از منظر استحکام و با توجه به جدید بودن زیرساخت‌های محله می‌توان با پایش مستمر و تشخیص آسیب‌ها و تخریب‌های احتمالی به مقاومت عناصر زیرساختی اقدام نمود.
  - در ایجاد زیرساخت‌های جدید علاوه بر مقاومت به افزونگی آن یعنی برنامه‌ریزی در راستای جایگزینی سریع عملکرد قسمت‌های مختل شده توجه گردد.
  - توسعه‌ی ارگان‌های مسئول زیرساخت‌ها با منابع و مواد در دسترس و همچنین منابع انسانی بآنها.
  - ایجاد صندوق ذخیره‌ی بازیابی عناصر زیرساختی.
  - تعریف فرآیندهای بازیابی عناصر زیرساختی در مواقع بحرانی.
  - بررسی مستمر زیرساخت‌های حیاتی و تدوین سناریوهای توسعه‌ی زیرساخت‌ها.
  - تنوع‌بخشی به طراحی زیرساخت‌ها و استقرار آنها با تأکید بر قطع و وصل محلی.

### کتاب نامه

۱. علیزاده، ه. (۱۴۰۰). تحلیل و شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهری بر اساس مدل چرخه‌ی سازگاری تاب‌آوری (RAC) در کلان‌شهر اهواز. *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۹(۴)، ۱۱۲۳-۱۱۰۳.
۲. کریمی، ف.، و جلیلی صدرآباد، س. (۱۳۹۸). بررسی جایگاه شاخص‌های تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری در فرآیند چرخه‌ای تاب‌آوری و درهم‌کنش آن‌ها از نظر متخصصان، شهر/ایمن. ۲(۸)، ۱۷-۱.
3. Amini, M.H., Boroojeni, K.G., Iyengar, S.S., Blaabjerg, F., Pardalos, P.M., & Madni, A.M. (2018). *A Panorama of Future Interdependent Networks: From Intelligent Infrastructures to Smart Cities*. Sustainable Interdependent Networks, New York: Springer Publication.
4. Borsekova, K., Nijkamp, P., & Guevara, P. (2018). Urban resilience patterns after an external shock: An exploratory study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 381-392.
5. Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, R., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A. & Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19, 733- 752.
6. Cimellaro, G. (2016). *Urban Resilience for Emergency Response and Recovery: Fundamental Concepts and Applications*. New York: Springer Publication.
7. Collier, P., & Venables, A. J. (2016). Urban infrastructure for development. *Oxford Review of Economic Policy*, 32(3), 391-409.
8. Comfort, L.K. (2020). *Managing Critical Infrastructures in Crisis*. Oxford: Oxford Research Encyclopedia of Politics.
9. Comfort, L.K., Boin, A., & Demchak, C. C. (2010). *Designing resilience: Preparing for extreme event*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
10. De Bruijn, K., Buurman, J., Mens, M., Dahm, R., & Klijn, F. (2017). Resilience in practice: Five principles to enable societies to cope with extreme weather events. *Environmental Science. Policy*, 70, 21-30.

11. Foundations, C. (1997). *Protecting America's Infrastructures: The Report of the President's Commission on Critical Infrastructure Protection*. Washington, DC: The President's Commission on Critical Infrastructure Protection.
12. Haghpahan, F. (2015). *Multilevel alignment of critical infrastructure protection and resilience (CIP-R) programmes: A systematic analysis of international good practices*. Doctoral dissertation, Supervisor: Prof. Paolo Trucco, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy.
13. Hynes, W., Trump, B., Love, P., & Linkov, I. (2020). Bouncing forward: a resilience approach to dealing with COVID-19 and future systemic shocks. *Environment Systems and Decisions*, 40, 174–84.
14. Kapucu, N., Hu, Q., Sadiq, A.A., & Hasan, S. (2023). Building urban infrastructure resilience through network governance. *Urban Governance*, 3(1), 5-13.
15. Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43–59.
16. Liang, X., & Kang, Y. (2021). *A review of spatial network insights and methods in the context of planning: applications, challenges, and opportunities*. Urban Informatics and Future Cities, Springer.
17. Musakwa, W. (2017). Perspectives on geospatial information science education: an example of urban planners in southern Africa. *Geo-spatial Information Science*, 20(2), 201–208.
18. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). *Building and measuring community resilience: Actions for communities and the gulf research program*. Washington, DC: The National Academies Press.
19. National Academy of Sciences (NAS). (2012). *Disaster resilience: A national imperative*. Washington, DC: The National Academies Press.
20. National Institute for Standards and Technology (NIST). (2016). *Community resilience planning guide for buildings and infrastructure*. Washington, DC: NIST Accessed from <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1190v1.pdf>.
21. Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability engineering & System safety*, 121, 43–60.
22. Ouyang, M., Dueñas-Osorio, L., & Min, X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*, 36, 23-31.
23. Parker, D. J. (2020). Disaster resilience – a challenged science. *Environmental Hazards*, 19(1), 1–9.
24. Peng, C., Yuan, M., Gu, Ch., Peng, Z., & Ming, T. (2017). A review of the theory and practice of regional resilience. *Sustainable Cities and Society*, 29, 86-96.
25. Pinskiwar, I., Chorynski, A., & Kundzewicz, Z.W. (2020). Severe drought in the spring of 2020 in Poland—More of the same? *Agronomy*, 10, 1-13.
26. Pursiainen, C. (2018). Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 632-641.
27. Rass, S., Schauer, S., König, S., & Zhu, Q. (2020). *Cyber-Security in Critical Infrastructures*. New York: Springer Publication.
28. Rockefeller Foundation. (2019). 100 resilient cities initiative. New York: Rockefeller Foundation. Website <http://www.100resilientcities.org>, Accessed date: 25 February 2019.
29. Sha, S., Cheng, Q., & Lu, M. (2023). Building a “reservoir of social resilience:” A strategy for social infrastructure regeneration in shrinking cities based on social network analysis. *Habitat International*, 143, 1-12.
30. Shaker, R. R., Rybarczyk, G., Brown, C., Papp, V., & Alkins, S. (2019). (Re) emphasizing urban infrastructure resilience via scoping review and content analysis. *Urban Science*, 3(2), 1-13.
31. Sitco, P., & Massella, A. (2019). Building urban resilience in the face of crisis: A focus on people and systems. The Global Alliance for Urban Crises. Retrieved from [https://www.preventionweb.net/files/63926\\_4.buildingurbanresilienceinthefaceo.pdf](https://www.preventionweb.net/files/63926_4.buildingurbanresilienceinthefaceo.pdf).



32. Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building Up Resilience in Cities Worldwide-Rotterdam as Participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61, 109-116.
33. UNDRR. (2022). United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Terminology. Retrieved January 19, 2022, from, <https://www.undrr.org/terminology>.
34. United Nations. (2018). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. Retrieved from <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.
35. Wells, E.M., Boden, M., Tseytlin, I., & Linkov, I. (2022). Modeling critical infrastructure resilience under compounding threats: A systematic literature review. *Progress in Disaster Science*, 15, 1-15.

