JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2024; 11(4):456-471 Original Article

Evaluation of Resilience Criteria to Deal with Post-Earthquake Fire in City of Tehran Using Network Analysis Process

Received: 09 April 2024,Accepted: 19 May 2024

Hossein Bahmani[1], Soheil Sobhanardakani[2*], Sahar Rezaian[3]

[1]*M.Sc. in Health, Safety & Environment, Department of Environmental Science, College of Basic Sciences and Modern Technologies, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

[2] *Ph.D. in Environmental Science, Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.*

[3] *Ph.D. in Environmental Management, Associate Professor in Environmental Management, Department of the Environment, College of Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran*

❋Corresponding Author:

s_sobhan@iauh.ac.ir

How to Cite This Article:
Bahmani H, Sobhan Ardakani S, Rezaian S. Evaluation of Resilience Criteria to Deal with Post-Earthquake Fire in City of Tehran Using Network Analysis Process. Journal of Environmental Health Engineering. 2024;11(4):456-71.

DOI:
10.61186/jehe.11.4.456

ABSTRACT

Background: The experiences gained from the occurrence of earthquakes in different countries of the world show that this phenomenon can be accompanied by fire, and in this situation, the resulting crisis management problems will increase. Therefore, this study was conducted to evaluate resilience criteria to deal with post-earthquake fires in the city of Tehran using an analytic network process.

Materials and Methods: In this descriptive study, three criteria including 'management and resource', 'design and financial support' and the 'function of urban infrastructure' and 21 sub-criteria were identified from similar studies and screened using the Delphi technique. Then the criteria and sub-criteria of each criterion were subjected to pairwise comparisons and weighting. The internal relationships between the criteria were determined using DEMATEL technique; also, the final prioritization and weighting of the results were done using ANP and DEMATEL via the Super Decisions software. In so doing, 10 experts from the Tehran Fire Protection Organization were selected in a non-probabilistic way to respond.

Results: Based on the results obtained, the 'management and resource' criterion with a final weight of 0.475 had the first priority among the other criteria and also had the most effectiveness and highest level of influence and interaction. Meanwhile, the 'design of earthquake-resistant and fireproof buildings' sub-criterion with a final weight of 0.095 had the first priority among the others.

Conclusion: In conclusion, it can be argued that the formation of the disaster management headquarters will be necessary for proper management and allocating required resources for predicting new situations after the earthquake and proposing the best solution for each possible scenario. Also, we can say that all of these strategies should be practiced by maneuvers and necessary equipment and resources should be provided in different parts of the city. But there is a point here that we should be careful in constructing new buildings in different areas with regarding to the latest map of Tehran faults. And in this field, using novel technologies to strengthen buildings against earthquakes would be necessary.

Keywords: Resilience, Fire, Earthquake, Network analysis, Dematel

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

Copyright © 2024 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۱، شماره ۴، تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۴۵۶ تا ۴۷۱
Alborz University of Medical Sciences
مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران با استفاده از تکنیک تحلیل شبکه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۰

حسین بهمنی[۱]، سهیل سبحان اردکانی[۲]*، سحر رضایان[۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه و فن‌آوری‌های نوین، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۳] دکترای تخصصی مدیریت محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
s_sobhan@iauh.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Bahmani H, Sobhan Ardakani S, Rezaian S. Evaluation of Resilience Criteria to Deal with Post-Earthquake Fire in City of Tehran Using Network Analysis Process. Journal of Environmental Health Engineering. 2024;11(4):456-71.

DOI:
10.61186/jehe.11.4.456

چکیده

زمینه و هدف: تجارب به‌دست آمده از رخداد زلزله در کشورهای مختلف جهان نشان می‌دهد که وقوع این پدیده می‌تواند با آتش‌سوزی همراه باشد و در این شرایط، معضلات مدیریت بحران افزایش خواهد یافت. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی شاخص‌های تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران با استفاده از تکنیک تحلیل شبکه انجام شد.

مواد و روش ها: در این پژوهش توصیفی، برای سنجش ارتباط بین متغیرهای تحقیق، پرسش‌نامه محقق‌ساخته شامل سه معیار اصلی و ۲۱ زیرمعیار بین ۱۰ نفر از کارشناسان مدیریت شهری، و آتش‌نشان‌های با سابقه شهر تهران توزیع شد. برای شناسایی معیارهای پژوهش، اولویت‌بندی زیرمعیارها و ارزیابی نحوه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری معیارها به‌ترتیب از تکنیک دلفی، روش ANP و تکنیک DEMATEL استفاده شد. همچنین، برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی نهایی معیارها از نرم‌افزار سوپردسیژن استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که شاخص "مدیریت و منابع" با وزن نهائی ۰/۴۷۵ مهم‌ترین و مؤثرترین معیار بوده که از بیش‌ترین تعامل با سایر معیارها برخوردار بوده است. از طرفی، معیار "عملکرد زیرساخت‌های شهری" به‌عنوان تأثیرپذیرترین معیار شناخته شد. همچنین، زیرشاخص "طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق" با وزن نهائی ۰/۰۹۵ اولویت اول را به‌خود اختصاص داد.

نتیجه گیری: به‌طور کلی، می‌توان اذعان داشت که به‌منظور اعمال مدیریت مناسب و تخصیص منابع مورد نیاز، با تشکیل ستاد مدیریت بحران می‌توان نسبت به پیش‌بینی شرایط ایجاد شده پس از زلزله اقدام و بهترین راهکار برای هر سناریوی محتمل را پیشنهاد داد. همچنین، توصیه می‌شود همه این راهبردها با انجام مانورهایی تمرین شوند و تجهیزات و منابع لازم در نقاط مختلف شهر تدارک دیده شوند. ضمن آن‌که باید در روند ساخت‌وسازها در مناطق مختلف به نقشه گسل‌های تهران توجه و در این خصوص از فناوری‌های نوین مقاوم‌سازی در برابر زلزله استفاده شود.

واژه های کلیدی: تاب‌آوری، آتش‌سوزی، زلزله، تحلیل شبکه، روش دیمتل

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

مقدمه

شهرها محل تجمع سرمایه‌های مادی و معنوی بشریت به‌شمار می‌روند که با جای دادن بیش‌تر از ۵۰ درصد جمعیت جهان در خود، در سال‌های اخیر اهمیتی بیش از پیش یافته‌اند و برای مدیریت پایدار آن‌ها انواع برنامه‌ریزی‌ها مدنظر قرارگرفته است. یکی از این برنامه‌ریزی‌ها، تاب‌آورسازی شهرها در برابر تهدیدات و خطرات احتمالی همچون زلزله بوده است که وقوع آن، تأثیرات سوئی برجای خواهد گذاشت[۱]. بنابراین، از آن‌جا که شهرها همچنان در حال رشد هستند و در این روند، با عدم اطمینان و چالش‌های مختلفی همچون بلایای طبیعی مواجه می‌شوند، مفهوم تاب‌آوری به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری شهری تبدیل به مفهومی فراگیر شده است[۲].

تجربه آتش‌سوزی‌ها در سراسر جهان ثابت می‌کند که زلزله یکی از مهم‌ترین عوامل بروز این پدیده در شهرها بوده و آتشی که پس از زلزله گسترش پیدا می‌کند، ممکن است فاجعه‌بارتر از خود زلزله باشد[۳]. برای مثال، پس از وقوع زلزله ویرانگر سانفرانسیسکو در سال ۱۹۰۶ اعلام شد که بیش‌تر از نیمی از خرابی‌های ایجاد شده بر اثر وقوع آتش‌سوزی بوده است. همچنین، در زلزله سال ۱۹۲۳ توکیو این پدیده دوباره تکرار شد و در مجموع آتش‌سوزی ناشی از این دو زمین‌لرزه، بیش‌تر از ۱۴۰۰۰۰ نفر تلفات برجای گذاشت[۴]. کشور ایران نیز از نظر جغرافیایی جزء مناطق زلزله‌خیز جهان به‌شمار می‌آید و احتمال وقوع زلزله‌های مخرب در همه نقاط آن وجود دارد؛ اما، در نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله ایران، کلان‌شهر تهران، در پهنه با خطر به‌نسبت بالا قرار دارد و مناطق ۱ تا ۵، ۱۳، ۱۵، ۲۰ و ۲۲ در محدوده گسل‌های اصلی و فعال تهران قرار می‌گیرند[۵]. همچنین، با توجه به این‌که گسل‌های شهر تهران مدتی طولانی انرژی نهفته خود را تخلیه نکرده‌اند، همواره این نگرانی وجود دارد که زلزله‌ای سهمگین‌تر از حالات عادی روی دهد که با توجه به تمرکز بالای فضاهای شهری و تأسیسات در شهر تهران، این رویداد می‌تواند علاوه بر آسیب‌ها و خسارات اولیه، به بروز سوانح ثانویه از جمله آتش‌سوزی و انفجار منجر شود. بر همین اساس، نتایج پژوهش‌های محققین این حوزه نشان می‌دهد که منطقه مرکزی، جنوب و شرق تهران دارای آسیب‌پذیری بالایی در برابر آتش‌سوزی هستند. قسمت مرکزی متأثر از حجم انبوهی از جایگاه‌های سوخت با مخازن زیاد است. از طرفی، ناحیه جنوب، غرب و شمال شرقی این کلان‌شهر به‌دلیل قرارگیری پالایشگاه‌ها و مخازن نفتی عظیم، قابلیت ایجاد حریق و آلودگی‌های وسیع را در زمان بروز زلزله دارد که آسیب‌های انسانی را در زلزله تشدید می‌کند[۶].

در خصوص ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله چندین مطالعه در سراسر جهان انجام شده است. از جمله پاکرو و موسوی (۲۰۲۳)[۱] در پژوهشی که با هدف ارزیابی تاب‌آوری منطقه یک شهر تبریز در برابر زلزله انجام شد، نتیجه گرفتند که هشت معیار شامل: "فاصله از مراکز امدادی"، "فاصله از مراکز آسیب‌زا"، "مصالح ابنیه"، "کیفیت ابنیه"، "عمر بنا"، "فاصله از شبکه راه‌ها"، "فاصله از فضاهای سبز و باز" و "فاصله از گسل" بر میزان تاب‌آوری شهرها در برابر زلزله مؤثر هستند. همچنین، مشخص شد که ۲۶ درصد از مناطق شهر تبریز تاب‌آوری کم، ۲۲ درصد تاب آوری متوسط و ۵۲ درصد از تاب‌آوری زیاد در برابر زلزله برخوردار بودند. در پژوهشی با مدل‌سازی GIS پایه آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری منطقه یک شهرداری تبریز و اثرات لرزه‌خیزی در تشدید آن گزارش شد که با توجه به برآورد خطر بالای آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری به‌خصوص استقرار بافت فرسوده و حاشیه‌نشینی در سطح منطقه، ساماندهی این بافت‌ها و اجرای عملیات محافظتی از خطوط انتقال گاز در بافت‌های یادشده ضروری است. همچنین، با توجه به پیچیدگی و طول زیاد خطوط انتقال گاز در بافت حاشیه شهر، استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن که در مقایسه با لوله‌های فولادی از مقاومت بالا برخوردار هستند، توصیه شد[۷]. غلامی و همکاران (۲۰۲۱)[۸] با ارزیابی احتمال وقوع آتش‌سوزی بعد از زلزله و قابلیت مقابله با آن با استفاده از تجزیه‌وتحلیل درخت خطا (Fault Tree Analysis, FTA) در منطقه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

۱۲ شهرداری تهران نتیجه‌گرفتند که میزان تاب‌آوری و آمادگی عوامل امدادی در مقابله با زلزله تحت تاثیر احتمال وقوع حریق پس از زلزله و قابلیت مقابله با آن است. در پژوهشی مشخص شد که برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی ناشی از زلزله، معیارهای "جنس سازه"، "تعداد علمک‌های گاز شهری" و "ارتفاع سازه" از بالاترین اولویت برخوردار بوده‌اند. همچنین، پیشنهاد شد که با توجه به محدودیت‌های اقتصادی و فنی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله، از پوشش‌های ضدحریق بر روی ستون‌ها استفاده شود[9]. ویتورینو و همکاران (۲۰۲۴)[10] با ارزیابی خطر آتش‌سوزی و تلفات پس از زلزله در مناطق شهری کشورهای آمریکا، ژاپن، ترکیه، شیلی، نیوزلند، ایتالیا، نیکاراگوئه، مکزیک، فیلیپین و مقدونیه شمالی گزارش کردند که آتش‌سوزی پس از زلزله یک تهدید قابل توجه برای سازه‌های شهری است و ممکن است به فروریختن ساختمان‌های آسیب دیده از زلزله و بروز تلفات انسانی فاجعه‌آمیز منجر شود. هی و همکاران (۲۰۲۱)[11] با ارزیابی جامع مبتنی بر سناریوی تاب‌آوری جامعه در برابر آتش‌سوزی پس از وقوع زلزله نتیجه گرفتند که معیارهای "مدیریت منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و "عملکرد زیرساخت‌های شهری" بر تاب‌آوری در مقابله با آتش-سوزی بعد از زلزله تأثیرگذار هستند. همچنین، دیویس و همکاران (۲۰۱۹)[12] با ارزیابی خطر آتش‌سوزی پس از زلزله در شهر لس‌آنجلس گزارش کردند که ارزیابی قابلیت سیستم آب‌رسانی برای برآوردن نیازهای اطفای آتش‌سوزی ناشی از وقوع زلزله می‌تواند به بهبود سیستم و ارتقای تاب‌آوری شهری در این خصوص کمک کند.

تهران به‌عنوان پایتخت کشور ایران یکی از بزرگ‌ترین کلان شهرهای جهان است که روزانه بیش‌تر از ۱۱ میلیون نفر را در خود جای می‌دهد. وقوع زلزله در این شهر به‌دلیل قرار-گرفتن آن بر روی گسل‌های عمده اصلی و فرعی با توان لرزه‌خیزی بالا مانند گسل مشاء و گسل‌های شمال و جنوب ری بسیار محتمل و خسارت‌های ناشی از آن نیز بسیار فاجعه‌آمیز خواهد بود. ضمن آن‌که آتش‌سوزی‌هایی که پس از زلزله احتمالی رخ می‌دهد، می‌تواند بیش‌تر از فاجعه اصلی خسارات مالی و تلفات جانی به‌همراه داشته باشد، تا جایی که تحقیقات انجام شده توسط مؤسسه تحقیقاتی بین‌المللی ژاپن (جایکا) نشان از آن دارد که پس از وقوع زلزله با قدرت زیاد در تهران، بیش‌ترین خسارت مربوط به آتش‌سوزی‌های ناشی از شکستگی لوله‌های گاز و حوادث مرتبط با آن خواهد بود[8]. لذا، با تقویت تاب‌آوری شهر تهران، می‌توان ریسک‌های سوانح طبیعی از قبیل ریسک حریق ناشی از زلزله را کاهش داد که این موضوع نیازمند مدیریتی فراگیر، شایسته و پاسخگو است که در راستای توسعه ظرفیت‌های مدیریت و سازماندهی قبل، حین و بعد از وقوع زلزله و آتش‌سوزی گام بردارد. لذا، برای دست‌یابی به این هدف در وهله نخست باید شاخص‌های تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران شناسایی و ارزیابی شوند که در این پژوهش به این مهم پرداخته شد.

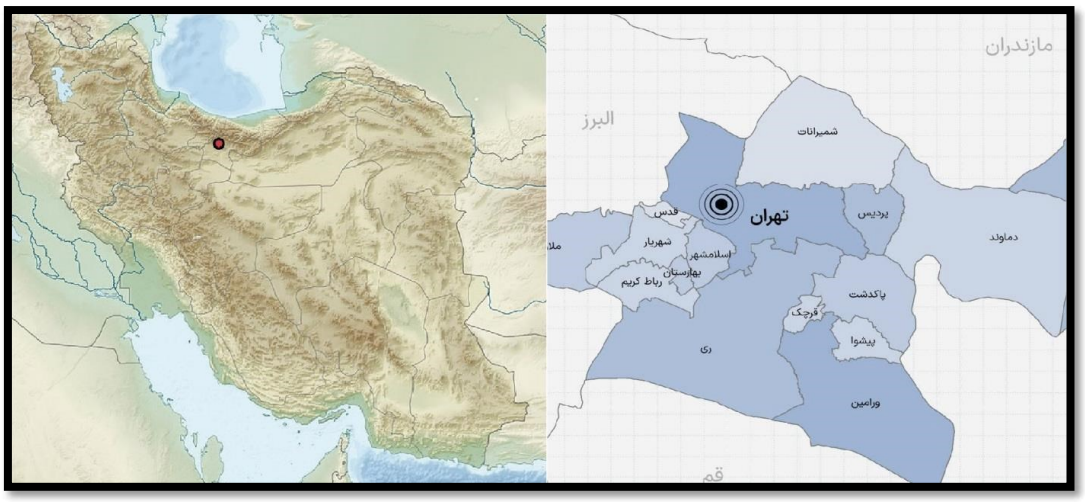
مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

تهران، پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. این شهر در برآورد سال ۱۴۰۱ بیش‌تر از ۹ میلیون نفر جمعیت ثابت داشته است و براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیا است. تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است و ۷۳۰ کیلومترمربع وسعت دارد. شهر تهران با شمیرانات، استان البرز، پردیس، قدس، شهریار، اسلامشهر، پاک دشت و ری مجاور است[13،14]. نقشه جانمایی شهر تهران و موقعیت جغرافیایی آن نسبت به مناطق مجاور در شکل ۱ آورده شده است. گسل‌های اصلی تهران عبارتند از: گسل مشا یا فشم؛ گسل شمال تهران؛ گسل پارچین؛ گسل کهریزک؛ گسل ری (شمالی و جنوبی)؛ گسل نیاوران؛ گسل لویزان؛ گسل پردیسان و گسل محمودیه.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]



شکل ۱. نقشه جانمایی شهر تهران و موقعیت استقرار آن نسبت به مناطق مجاور

روش اجرای پژوهش

برای اجرای این پژوهش توصیفی، ابتدا نسبت به انجام مطالعه‌های کتابخانه‌ای، و پس از آن طراحی مدل مفهومی پژوهش با الگو گرفتن پژوهش هی و همکاران (۲۰۲۱)[11] اقدام شد. بدین منظور، پرسش‌نامه‌های دلفی (Delphi) و ۹ درجه ساعتی طراحی و با استفاده از روش ANP-DEMATEL، نسبت به انجام مقایسه‌های زوجی و پردازش اطلاعات اقدام شد. بدین منظور، با استناد به مدل مفهومی پژوهش، سه معیار و ۲۰ زیرمعیار مؤثر بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله به‌شرح مندرج در جدول ۱ انتخاب شدند.

پس از آن، معیارها و زیرمعیارها به‌عنوان پیش‌فرض در قالب پرسش‌نامه اولیه دلفی به خبرگان ارائه شده و پس از امتیازدهی به آن‌ها، زیرمعیارها غربال شدند.

در مرحله بعد، روابط درونی بین معیارهای اصلی با استفاده از تکنیک دلفی محاسبه شد. سپس، نسبت به مقایسه معیارها و زیرمعیارهای نهایی توسط طیف ۹ درجه ساعتی اقدام شد و بر این اساس، وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. در نهایت، وزن حاصل از مقایسه‌های زوجی و اوزان به‌دست آمده از روش دیمتل توسط نسخه ۳.۲ نرم‌افزار سوپردسیژن ادغام شده و به‌دنبال آن، وزن نهایی زیرمعیارها حاصل شد.

جامعه آماری

جامعه آماری این پژوهش شامل افراد خبره و کارشناس حوزه مربوطه بودند که بر اساس روش نمونه‌گیری هدفمند و با درنظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مالی مترتب بر پژوهش، تعداد ۱۰ نفر از خبرگان و صاحب‌نظران سازمان آتش‌نشانی تهران شامل مدیران ارشد و میانی با تجربه درخصوص کنترل و مهار آتش‌سوزی‌های گسترده همگی با بیش‌تر از ۱۰ سال سابقه کار در زمینه مورد پژوهش؛ به‌عنوان جامعه مورد بررسی در این مطالعه انتخاب شدند.

بررسی روائی و پایائی ابزار گردآوری داده‌ها

در این پژوهش، از فرآیند تحلیل شبکه گروهی (ANP) برای تعیین وزن متغیرهای خروجی از پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی استفاده شد. همچنین، برای بررسی روائی پرسشنامه از شاخص ناسازگاری استفاده شد. بدین‌صورت‌که در موارد مواجهه با نرخ ناسازگاری بزرگ‌تر از ۰/۱۰، در مقایسه‌ها تجدیدنظر شد.

پردازش داده‌ها

در این پژوهش، معیارهای تأثیرگذار بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله شامل: "مدیریت و منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و "عملکرد زیرساخت‌های

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

شهری" با استفاده از روش تحلیل شبکه گروهی رتبه‌بندی شده و پس از آن، روابط درونی بین معیارها با استفاده از روش تصمیم‌گیری دیمتل تعیین شدند. در نهایت، این دو روش با یکدیگر در نرم‌افزار سوپردسیژن ادغام و رتبه نهایی زیرمعیارها استخراج شد.

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای پژوهش تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله

ردیف	شاخص	زیرشاخص
۱	مدیریت و منابع	**ایمنی و سلامت ساکنین**
۲		**میزان مشارکت ذی‌نفع‌ها**
۳		**دانش پیش‌گیری از آتش‌سوزی در زلزله**
۴		**هرج‌ومرج پس از وقوع زلزله**
۵		**زمان واکنش آتش‌نشان‌ها**
۶		**پشتیبانی خارجی**
۷		**قابلیلت مدیریت شرایط اضطراری**
۸		**منابع و ذخایر موجود**
۹	طراحی و پشتیبانی مالی	**طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق**
۱۰		**شرایط مالی جامعه**
۱۱		**سیستم‌های ارتباطی**
۱۲		**سیستم‌های حمل‌ونقل**
۱۳		**سیستم‌های امنیتی**
۱۴		**سیستم‌های آتش‌نشانی**
۱۵		**سیستم‌های گازرسانی**
۱۶	عملکرد زیرساخت‌های شهری	**سیستم‌های تأمین آب**
۱۷		**سیستم‌های تأمین برق**
۱۸		**سیستم‌های کنترل آتش فعال**
۱۹		**سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب**
۲۰		**سیستم‌های مدیریت پسماند**

یافته‌ها

نتایج غربال‌گری زیرمعیارها

نتایج تکنیک دلفی برای غربال زیرمعیارها و دست‌یابی به زیرمعیارهای نهایی در جدول ۲ آورده شده است.

از طرفی، بر اساس پرسش‌نامه باز، زیرمعیار "سیستم‌های اطلاع‌رسانی" توسط خبرگان به پرسش‌های پرسش‌نامه دلفی مرحله دوم اضافه شد و از این‌رو، پژوهش با ۲۱ زیرمعیار ادامه یافت. خلاصه نتایج پرسش‌نامه جدید در جدول ۳ آورده شده است.

در این پژوهش، برای محاسبه هماهنگی دیدگاه کارشناس‌ها، در مراحل اول و دوم دلفی از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد که نتیجه آن در جدول ۴ آورده شده است. بر این اساس، مقادیر ضریب همبستگی کندال بزرگ‌تر از ۰/۳۰ و سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ نشان‌دهنده توافق کامل کارشناسان در هر دو مرحله دلفی است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

جدول ۲. خلاصه نتایج مرحله اول تکنیک دلفی

معیار	زیرمعیار		کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵	کارشناس ۶	کارشناس ۷	کارشناس ۸	کارشناس ۹	کارشناس ۱۰	میانگین	انحراف شاخص
مدیریت و منابع	ایمنی و سلامت ساکنین		۷	۷	۸	۸	۷	۸	۸	۸	۸	۷	۷/۶۰	۰/۴۹۰
	میزان مشارکت ذی‌نفع‌ها		۷	۸	۸	۸	۷	۹	۶	۷	۸	۸	۷/۶۰	۰/۸۰۰
	دانش پیشگیری از آتش‌سوزی در زلزله		۸	۷	۷	۸	۷	۸	۹	۷	۷	۷	۷/۵۰	۰/۶۷۱
	هرج‌ومرج پس از وقوع زلزله		۹	۷	۸	۷	۸	۷	۷	۸	۷	۸	۷/۶۰	۰/۶۶۳
	زمان واکنش آتش‌نشان‌ها		۸	۸	۹	۷	۹	۷	۵	۷	۸	۸	۷/۶۰	۱/۱۱
	پشتیبانی خارجی		۶	۷	۷	۷	۹	۷	۸	۸	۷	۷	۷/۳۰	۰/۷۸۱
	قابلیلت مدیریت شرایط اضطراری		۸	۸	۷	۸	۹	۷	۷	۷	۸	۸	۷/۷۰	۰/۶۴۰
	منابع و ذخایر موجود		۸	۸	۸	۷	۹	۸	۸	۸	۸	۷	۷/۹۰	۰/۵۳۹
طراحی و پشتیبانی مالی	طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق		۸	۷	۹	۷	۹	۹	۸	۷	۸	۸	۸/۰۰	۰/۷۷۵
	شرایط مالی جامعه		۸	۷	۸	۸	۸	۴	۸	۵	۸	۸	۷/۲۰	۱/۴۰
	سیستم‌های ارتباطی		۸	۸	۹	۸	۵	۷	۸	۵	۸	۸	۷/۴۰	۱/۲۸
	سیستم‌های حمل‌ونقل		۷	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۷	۸	۱۰	۹	۸/۸۰	۱/۱۷
	سیستم‌های امنیتی		۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۹	۷	۸	۱۰	۸	۸/۷۰	۱/۰۱
	سیستم‌های آتش‌نشانی		۸	۸	۹	۱۰	۸	۸	۸	۷	۷	۸	۸/۱۰	۰/۸۳۱
	سیستم‌های گازرسانی		۸	۷	۷	۸	۹	۵	۹	۷	۸	۷	۷/۵۰	۱/۱۲
عملکرد زیرساخت‌های شهری	سیستم‌های تأمین آب		۶	۸	۸	۷	۸	۷	۸	۹	۹	۷	۷/۷۰	۰/۹۰۰
	سیستم‌های تأمین برق		۸	۷	۹	۷	۸	۸	۷	۵	۸	۸	۷/۵۰	۱/۰۳
	سیستم‌های کنترل آتش فعال		۸	۷	۸	۸	۸	۹	۷	۵	۸	۸	۷/۶۰	۱/۰۲
	سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب		۸	۸	۷	۸	۵	۹	۷	۵	۸	۸	۷/۳۰	۱/۲۷
	سیستم‌های مدیریت پسماند		۷	۹	۷	۱۰	۱۰	۸	۹	۸	۱۰	۹	۸/۷۰	۱/۱۰

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

جدول ۳. خلاصه نتایج مرحله نهایی تکنیک دلفی

معیار	زیرمعیار	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵	کارشناس ۶	کارشناس ۷	کارشناس ۸	کارشناس ۹	کارشناس ۱۰	میانگین	انحراف شاخص
مدیریت و منابع	ایمنی و سلامت ساکنین	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۷	۹	۹	۱۰	۷	۹/۱۰	۱/۱۴
	میزان مشارکت ذی‌نفع‌ها	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۸	۱۰	۹	۹	۸	۹/۲۰	۰/۷۴۸
	دانش پیشگیری از آتش‌سوزی در زلزله	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۷	۸	۹/۳۰	۱/۰۱
	هرج‌ومرج پس از وقوع زلزله	۶	۸	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	۸	۹	۸/۹۰	۱/۲۲
	زمان واکنش آتش‌نشان‌ها	۸	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۸	۹	۹	۸	۸/۹۰	۰/۸۳۱
	پشتیبانی خارجی	۷	۵	۹	۱۰	۱۰	۸	۹	۷	۹	۸	۸/۲۰	۱/۴۷
	قابلیلت مدیریت شرایط اضطراری	۷	۷	۱۰	۱۰	۹	۷	۸	۸	۸	۷	۸/۱۰	۱/۱۴
	منابع و ذخایر موجود	۱۰	۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۹/۳۰	۰/۹۰۰
طراحی و پشتیبانی مالی	طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق	۹	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	۷	۹/۲۰	۰/۸۷۲
	شرایط مالی جامعه	۱۰	۹	۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۹/۲۰	۰/۷۴۸
	سیستم‌های ارتباطی	۸	۱۰	۱۰	۹	۹	۸	۸	۸	۱۰	۸	۸/۸۰	۰/۸۷۲
	سیستم‌های حمل‌ونقل	۸	۹	۱۰	۹	۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۸	۸/۹۰	۰/۸۳۱
	سیستم‌های امنیتی	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۸	۹	۸	۸	۸	۹	۸/۹۰	۰/۸۳۱
	سیستم‌های آتش‌نشانی	۸	۸	۷	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	۸	۸/۸۰	۰/۹۸۰
	سیستم‌های گازرسانی	۷	۱۰	۸	۹	۱۰	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹/۲۰	۰/۹۸۰
عملکرد زیرساخت‌های شهری	سیستم‌های تأمین آب	۸	۸	۷	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۷	۸/۷۰	۱/۱۹
	سیستم‌های تأمین برق	۷	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۷	۹	۹	۸/۸۰	۱/۱۷
	سیستم‌های کنترل آتش فعال	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۸	۹/۴۰	۰/۸۰۰
	سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب	۸	۸	۷	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۹/۰۰	۱/۰۹
	سیستم‌های مدیریت پسماند	۷	۱۰	۸	۹	۱۰	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۹/۱۰	۰/۹۴۳
	سیستم‌های اطلاع‌رسانی	۸	۸	۷	۹	۸	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۷	۸/۵۰	۱/۱۲

جدول ۴. مقادیر ضریب همبستگی کندال در مراحل اول و دوم (نهایی) دلفی

	تعداد گویه	تعداد کارشناس‌ها	ضریب کندال	سطح معناداری
مرحله اول	۲۰	۱۰	۰/۳۲۲	۰/۰۰۰
مرحله نهایی	۲۱	۱۰	۰/۴۰۲	۰/۰۰۰

نتایج تعیین اولویت معیارهای اصلی پژوهش بر اساس هدف

نتایج مربوط به تعیین اولویت معیارهای اصلی پژوهش بر اساس هدف در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. نتایج تعیین اولویت معیارهای اصلی پژوهش بر اساس هدف

معیار	مدیریت و منابع	طراحی و پشتیبانی مالی	عملکرد زیرساخت‌های شهری	میانگین هندسی	بردار ویژه
مدیریت و منابع	۱	۱/۹۶	۱/۷۲	۱/۵۰	۰/۴۷۵
طراحی و پشتیبانی مالی	۰/۵۱۱	۱	۱/۷۸	۰/۹۶۹	۰/۳۰۷
عملکرد زیرساخت‌های شهری	۰/۵۸۳	۰/۵۶۱	۱	۰/۶۸۹	۰/۲۱۸

بر این اساس مشخص شد که معیارهای "مدیریت و منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و "عملکرد زیرساخت‌های شهری" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۴۷۵، ۰/۳۰۷ و ۰/۲۱۸ به‌ترتیب اولویت‌های اول، دوم و آخر را به‌خود اختصاص دادند.

نتایج مقایسه زوجی زیرمعیارها

نتایج تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص "مدیریت و منابع" نشان داد که زیرمعیارهای "قابلیت مدیریت شرایط اضطراری"، "ایمنی و سلامت ساکنین"، "زمان واکنش آتش‌نشان‌ها"، "هرج‌ومرج پس از وقوع زلزله"، "میزان مشارکت ذی‌نفع‌ها"، "منابع و ذخایر موجود"، "دانش پیشگیری از آتش‌سوزی در زلزله" و "پشتیبانی خارجی" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۲۲۷، ۰/۲۲۰، ۰/۱۷۳، ۰/۰۹۰، ۰/۰۸۳، ۰/۰۷۴، ۰/۰۷۱ و ۰/۰۶۲ به‌ترتیب اولویت‌های اول تا آخر را به‌خود اختصاص دادند. همچنین، نرخ ناسازگاری برابر با ۰/۰۶۸ (کوچک‌تر از ۰/۱۰۰) نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن مقایسه‌های انجام شده است.

همچنین، نتایج تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص "طراحی و پشتیبانی مالی" نشان داد که زیرمعیارهای "طراحی ساختمان‌های ضد زلزله و ضدحریق"، "سیستم‌های ارتباطی"، "سیستم‌های آتش‌نشانی"، "سیستم‌های حمل‌ونقل"، "سیستم‌های امنیتی"، "شرایط مالی جامعه" و "سیستم‌های گازرسانی" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۲۸۶، ۰/۱۷۴، ۰/۱۴۷، ۰/۱۱۶، ۰/۱۰۵، ۰/۰۹۸ و ۰/۰۷۴ به‌ترتیب اولویت‌های اول تا آخر را به‌خود اختصاص دادند. از طرفی، نرخ ناسازگاری برابر با ۰/۰۹۲ (کوچک‌تر از ۰/۱۰۰) نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن مقایسه‌های انجام شده است.

از دیگر سو، نتایج تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص "عملکرد زیرساخت‌های شهری" نشان داد که زیرمعیارهای "سیستم‌های اطلاع‌رسانی"، "سیستم‌های کنترل آتش فعال"، "سیستم‌های تأمین برق"، "سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب"، "سیستم‌های تأمین آب" و "سیستم‌های مدیریت پسماند" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۲۲۴، ۰/۱۹۱، ۰/۱۸۹، ۰/۱۷۲، ۱۵۴ و ۰/۰۶۹ به‌ترتیب اولویت‌های اول تا آخر را به‌خود اختصاص دادند. به‌علاوه، نرخ ناسازگاری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

برابر با ۰/۰۹۷ (کوچک‌تر از ۰/۱۰۰) نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن مقایسه‌های انجام شده است.

نتایج محاسبه روابط درونی بین معیارها

در این پژوهش، برای محاسبه ارتباط‌های متقابل بین معیارهای اصلی تحقیق از تکنیک دیمتل استفاده شد که ماتریس حاصل یعنی ماتریس ارتباطات داخلی، هم رابطه علی و معلولی بین عوامل، و هم اثرپذیری و اثرگذاری متغیرها را نشان داد.

مرحله ۱- نتایج محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (M)

بدین منظور، نسبت به محاسبه میانگین حسابی ساده نظرات کارشناسان اقدام و ماتریس ارتباط مستقیم یا M تشکیل شد که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶. نتایج ماتریس ارتباط مستقیم

	مدیریت و منابع	طراحی و پشتیبانی مالی	عملکرد زیرساخت های شهری
مدیریت و منابع	۰/۰۰۰	۳/۱۰	۳/۲۰
طراحی و پشتیبانی مالی	۲/۸۰	۰/۰۰۰	۳/۲۰
عملکرد زیرساخت‌های شهری	۳/۱۰	۲/۷۰	۰/۰۰۰

مرحله ۲- نتایج محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم نرمال (N = K × M)

بدین منظور، ابتدا جمع همه سطرها و ستون‌ها محاسبه شد که در این ماتریس، معکوس بزرگترین عدد سطر و ستون K را تشکیل می‌دهد. با استناد به جدول ۶، بزرگ‌ترین حاصل جمع برابر با ۶/۴۰ بود که همه مقادیر جدول برای حصول به ماتریس نرمال (جدول ۷) بر معکوس این عدد ضرب شد.

$$K = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^{n} a_{ij}} = \frac{1}{6.40} = 0.156$$

⇨ N = ۰/۱۵۶ × M

جدول ۷. نتایج ماتریس نرمال‌شده

N	مدیریت و منابع	طراحی و پشتیبانی مالی	عملکرد زیرساخت های شهری
مدیریت و منابع	۰/۰۰۰	۰/۴۸۴	۰/۵۰۰
طراحی و پشتیبانی مالی	۰/۴۳۸	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰
عملکرد زیرساخت‌های شهری	۰/۴۸۴	۰/۴۲۲	۰/۰۰۰

مرحله ۳- نتایج محاسبه ماتریس ارتباط کامل

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل (T)، ابتدا ماتریس همانی (I) تشکیل و پس از کسر ماتریس همانی از ماتریس نرمال، نسبت به معکوس کردن ماتریس حاصل اقدام شد. در نهایت، ماتریس نرمال در ماتریس معکوس ضرب شد که نتیجه نهایی در جدول ۸ آورده شده است.

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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

جدول ۸. نتایج ماتریس ارتباط کامل

T	مدیریت و منابع	طراحی و پشتیبانی مالی	عملکرد زیرساخت های شهری
مدیریت و منابع	۵/۲۹	۵/۵۵	۵/۹۲
طراحی و پشتیبانی مالی	۵/۴۲	۵/۰۵	۵/۷۳
عملکرد زیرساخت‌های شهری	۵/۳۴	۵/۲۴	۵/۲۹

مرحله ٤- نتایج نمایش نقشه روابط شبکه

برای تعیین نقشه روابط شبکه (Network Relation Map, NRM)، نسبت به محاسبه شدت آستانه اقدام شد. بدین منظور، فقط روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگ‌تر بود، در NRM نمایش داده شدند. بر این اساس، همه مقادیر ماتریس T که کوچک‌تر از آستانه بودند برابر با صفر به‌دست آمده و این خود نشان داد که آن رابطه را نمی‌توان علی در نظر گرفت. نتایج نشان داد که شدت آستانه برابر ۳/۸۵ است. بر این اساس، الگوی روابط معنی‌دار و از طرفی روابط علی معیارها به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ آورده شده‌اند.

جدول ۹. نتایج بررسی الگوی روابط معنی‌دار معیارهای اصلی

Final	مدیریت و منابع	طراحی و پشتیبانی مالی	عملکرد زیرساخت های شهری
مدیریت و منابع	*	۵/۵۵	۵/۹۲
طراحی و پشتیبانی مالی	*	*	۵/۷۳
عملکرد زیرساخت‌های شهری	*	*	*

جدول ۱۰. نتایج بررسی الگوی روابط علی معیارهای اصلی

	D	R	D+R	D-R
مدیریت و منابع	۱۶/۸	۱۶/۱	۳۲/۸	۰/۷۰۹
طراحی و پشتیبانی مالی	۱۶/۲	۱۵/۸	۳۲/۰	۰/۳۷۲
عملکرد زیرساخت‌های شهری	۱۵/۹	۱۶/۹	۳۲/۷	-۱/۰۸

در جدول ۱۰، جمع عناصر هر سطر (D) نشان‌دهنده میزان تاثیرگذاری آن معیار بر سایر معیارهای مدل است. بر این اساس، معیار "مدیریت و منابع" از بیش‌ترین تاثیرگذاری برخوردار بوده است. جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نیز بیان‌گر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عوامل سیستم است که بر این اساس، معیار "عملکرد زیرساخت های شهری" از بیش‌ترین میزان تاثیرپذیری برخوردار بوده است. از طرفی، بردار افقی (D + R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، هرچه مقدار D + R عاملی بیش‌تر باشد، بدین مفهوم است که آن عامل تعامل بیش‌تری با سایر عوامل سیستم داشته است. بر این اساس، معیار "مدیریت و منابع" از بیش‌ترین تعامل با سایر معیارهای مورد مطالعه برخوردار بود. بردار عمودی (D - R)، قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، مقادیر مثبت D - R نشان‌دهنده آن است که متغیر مدنظر یک متغیر علی است و مقادیر منفی نیز بیان‌گر متغیر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

معلول بودن آن است. بر این اساس، معیارهای "مدیریت و منابع" و "طراحی و پشتیبانی مالی" متغیر علی؛ و معیار "عملکرد زیرساخت های شهری" نیز متغیر معلول هستند.

برای تعیین اولویت نهائی زیرمعیارها از تکنیک ANPاستفاده شد که نتایج حاصل در جدول ۱۱ آورده شده است.

نتایج اولویت‌بندی زیرمعیارهای مدل با تکنیک ANP

جدول ۱۱. نتایج اولویت‌بندی نهائی زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	وزن نهایی زیرشاخص	رتبه نهایی زیرشاخص
مدیریت و منابع	ایمنی و سلامت ساکنین	۰/۰۴۵	۱۱
	میزان مشارکت ذی‌نفع‌ها	۰/۰۳۹	۱۲
	دانش پیش‌گیری از آتش‌سوزی در زلزله	۰/۰۳۶	۱۴
	هرج‌ومرج پس از وقوع زلزله	۰/۰۳۳	۱۶
	زمان واکنش آتش‌نشان‌ها	۰/۰۶۶	۳
	پشتیبانی خارجی	۰/۰۳۰	۱۸
	قابلیت مدیریت شرایط‌اضطراری	۰/۰۲۶	۱۹
	منابع و ذخایر موجود	۰/۰۵۷	۷
طراحی و پشتیبانی مالی	طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق	۰/۰۹۵	۱
	شرایط مالی جامعه	۰/۰۳۲	۱۷
	سیستم‌های ارتباطی	۰/۰۵۸	۶
	سیستم‌های حمل‌ونقل	۰/۰۳۸	۱۳
	سیستم‌های امنیتی	۰/۰۳۵	۱۵
	سیستم‌های آتش‌نشانی	۰/۰۴۹	۱۰
	سیستم‌های گازرسانی	۰/۰۲۷	۲۰
عملکرد زیرساخت‌های شهری	سیستم‌های تأمین آب	۰/۰۵۱	۹
	سیستم‌های تأمین برق	۰/۰۶۳	۵
	سیستم‌های کنترل آتش فعال	۰/۰۶۴	۴
	سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب	۰/۰۵۶	۸
	سیستم‌های مدیریت پسماند	۰/۰۲۳	۲۱
	سیستم‌های اطلاع‌رسانی	۰/۰۷۵	۲

بر این اساس، زیرمعیار "طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۰۹۵ اولویت اول و زیرمعیار "سیستم‌های مدیریت پسماند" با وزن نرمال‌شده برابر با ۰/۰۲۳ اولویت آخر را به‌خود اختصاص دادند.

بحث

جمعیت انسانی و ثروت اجتماعی عموماً در مناطق شهری متمرکز هستند که ممکن است در برابر بلایای طبیعی یا انسانی آسیب‌پذیر باشند. در دهه‌های اخیر افزایش تعداد بلایای طبیعی خسارات اقتصادی و جانی زیادی را به‌همراه داشته است. بنابراین، توجه ویژه به کاهش آسیب‌پذیری و افزایش ظرفیت و سازگاری سیستم‌ها و زیرسیستم‌های کالبدی و عملکردی شهرها از طریق تاب‌آوری شهری به‌منظور مقابله با بلایای طبیعی ضروری است[۱۵]. سوانح و بلایای طبیعی در سراسر دنیا همه ساله میلیاردها دلار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

خسارات مالی و صدها هزار نفر تلفات جانی برجای می‌گذارند[۱۶].خسارت‌های ناشی از تهدیدات به زیرساخت‌های شهری از جمله شبکه حمل و نقل، پل‌ها، شبکه جمع‌آوری فاضلاب و خطوط و شبکه انتقال و توزیع نیرو و انرژی در مواجهه با بلایای طبیعی همچون زلزله، ممکن است علاوه بر ایجاد آسیب‌های جانی و اختلال در عواطف انسانی افراد، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی نیز به‌همراه داشته باشد[۱۷].

تاب‌آوری شهری به‌عنوان هسته مرکزی شهرسازی یکی از مهم‌ترین معیارها در روند توسعه شهری و تراکم جمعیت در مناطق مختلف است و بدیهی است که هرچه سطح تاب‌آوری شهری بالاتر باشد، امنیت بیش‌تری برای زندگی در آن شهر فراهم خواهد شد. بنابراین، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران حوزه مدیریت شهری می‌بایست به‌طور مستمر نسبت به سنجش و پایش در مناطق شهری اقدام کنند تا با بررسی نقاط ضعف و قوت موجود، تمهیدات مناسبی برای اصلاح و بهبود موانع و مشکلات موجود در شهر اتخاذ کنند[۱۸]. در این خصوص، آتش‌سوزی‌های پس از زلزله که به‌عنوان یکی از اثرات ثانویه زمین‌لرزه می‌تواند تلفات بیش‌تری را به‌همراه داشته باشد، مسأله تاب‌آوری شهری را حتی پیچیده‌تر نیز می‌کند، چراکه بسیار محتمل است زیرساخت‌های تأمین آب واحدهای آتش‌نشانی بر اثر زمین‌لزره دچار خسارت شده و از خدمت‌رسانی خارج شوند. از طرفی، محدودیت در دسترس بودن منابع اطفای حریق به‌دلیل وقوع آتش‌سوزی‌های احتمالی همزمان، ترافیک شدید معابر و آسیب یا فروریختن ساختمان‌ها و زیرساخت‌هایی همچون شبکه‌های توزیع گاز و برق، ریسک بالقوه آتش‌سوزی‌های بعد از زلزله را به‌ویژه برای جوامع شهری افزایش می‌دهد و همین موضوع می‌تواند مشکلی مضاعف ایجاد کند[۴،۱۷،۱۹]. از این‌رو، آتش‌سوزی‌های پس از زلزله نگرانی فزاینده‌ای را در جامعه مهندسی و بین شهروندان به‌دلیل پیامدهای مخربی که چنین رویدادهایی ممکن است بر ایمنی افراد و املاک داشته باشد، ایجاد کرده است[۲۰].

وقوع زلزله در تهران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کلان‌شهرهای جهان که روزانه بیش‌تر از ۱۱ میلیون نفر جمعیت را درخود جای می‌دهد، به‌دلیل واقع شدن بر روی گسل‌های عمده اصلی و فرعی با توان لرزه‌خیزی بالا بسیار محتمل و به‌تبع آن خسارت‌های ناشی از آن نیز بسیار فاجعه‌آمیز خواهد بود. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی معیارهای تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران با استفاده از تکنیک تحلیل شبکه به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جامع و قدرتمند برای تصمیم‌گیری دقیق با استفاده از قضاوت خبرگان برای سازماندهی معیارها و ارزیابی اهمیت و ارجحیت هر یک از آن‌ها[۲۱] نسبت به گزینه‌ها در راستای انتخاب گزینه بهینه با لحاظ کردن روابط درونی عناصر براساس مقایسه‌های زوجی انجام شد.

بر اساس غربال‌گری انجام‌یافته توسط ۱۰ خبره شاغل در آتش‌نشانی تهران، سه معیار و ۲۱ زیرمعیار انتخاب شدند که بر این اساس و با استناد به یافته‌ها، معیارهای "مدیریت و منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و "عملکرد زیرساخت‌های شهری" به‌ترتیب اولویت‌های اول، دوم و آخر را به‌خود اختصاص دادند. لذا، در صورتی‌که زیرمعیارهای شاخص "مدیریت و منابع" و به‌ویژه "قابلیت مدیریت شرایط اضطراری"، "ایمنی و سلامت ساکنین" و "زمان واکنش آتش‌نشان‌ها" به‌عنوان زیرمعیارهای واجد اولویت اول تا سوم در مدیریت آتش‌سوزی ناشی از زلزله مدتوجه قرار نگیرند، چه بسا با خسارت‌های فاجعه‌آمیز آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران مواجه خواهیم شد. در این خصوص، توجه به مقوله کیفیت آموزش آتش‌نشان‌ها برای کنترل و مهار شرایط بحرانی آتش‌سوزی پس از زلزله می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد[۱۹]. این در حالی است که نتایج تعیین اولویت نهائی زیرمعیارها با استفاده از تکنیک ANP نشان داد که زیرمعیار "طراحی ساختمان‌های

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

ضدزلزله و ضدحریق" اولویت اول را به‌خود اختصاص داده است. لذا، الزام پیمانکاران به استفاده از مصالح مقاوم در برابر حریق در ساخت‌وسازها ضروری به‌نظر می‌رسد.

در این خصوص، پاکرو و موسوی (۲۰۲۳)[۱] با ارزیابی تاب‌آوری شهر تبریز در برابر زلزله، "کیفیت ابنیه" را به‌عنوان مهم‌ترین عامل تاب‌آوری شهر در برابر زلزله معرفی کرده و اذعان داشتند که کیفیت ابنیه و ضدزلزله بودن آن‌ها در پیشگیری از تخریب بناها نقش اساسی ایفا می‌کنند. عرب محمدی (۲۰۲۲)[۲۲] با ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها در هنگام آتش‌سوزی پس از زلزله گزارش کرد که استفاده از مصالح مناسب و طراحی ایمن ساختمان‌ها می‌تواند آن‌ها را در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله برای مدت زمانی معین مقاوم کند. فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۲۲)[۷] نیز با مدل‌سازی GIS پایه آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهر تبریز و اثرات لرزه‌خیزی در تشدید آن به اهمیت سیستم‌های گازرسانی در زمان زلزله و آتش‌سوزی‌های پس از آن تاکید و اذعان داشتند که با اختلال و ترکیدن لوله گاز در اثر زلزله، احتمال بروز انفجار و آتش‌سوزی‌های مهیب افزایش می‌یابد و از این‌رو، نتیجه گرفته شد که توجه به سیستم‌های گازرسانی و جلوگیری از آسیب به آن در اثر زلزله از اهمیت زیادی برخوردار است. در پژوهشی دیگر، ارزیابی احتمال وقوع آتش‌سوزی بعد از زلزله و قابلیت مقابله با آن در منطقه ۱۲ شهرداری تهران نشان داد که معیار "مدیریت" و زیرمعیارهای مرتبط با آن به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل در تاب‌آوری پس از بروز زلزله محسوب می‌شوند[۸] که با نتایج پژوهش حاضر که در آن، معیار "مدیریت و منابع" اولویت اول را به‌خود اختصاص داد، همخوانی دارد. به‌علاوه، زارع (۲۰۱۸)[۲۳] با ارزیابی ایمنی شهر تهران در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله، تراکم جمعیت زیاد و ساخت‌وساز غیرمنظم را از عوامل ریسک بالای حریق پس از زلزله معرفی کرد. شریعت علوی و شاپوری (۲۰۲۰) با ارزیابی ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله در استان‌های قزوین و مرکزی نتیجه گرفتند که الگوی پراکندگی برخی از عوامل مانند خطوط انتقال نیرو، پمپ بنزین‌ها و صنایع پرخطر، بر احتمال وقوع آتش‌سوزی پس از زلزله اثرگذار هستند. همچنین، گزارش شد که گسترش پوشش گیاهی در مجاورت مراکز با ریسک بالا از یک‌سو، و رعایت نکات ایمنی مهار آتش در ساخت و سازهای جدید می‌توانند احتمال آتش‌سوزی پس از زلزله را کاهش دهند[۲۴]. هی و همکاران (۲۰۲۱)[۱۱] هم سه معیار "مدیریت و منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و همچنین "عملکرد زیرساخت‌های شهری" را به‌عنوان شاخص‌های تأثیرگذار و اصلی بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی بعد از زلزله معرفی کردند که در پژوهش حاضر هم نتایج مشابهی حاصل شد. لو و همکاران (۲۰۲۳)[۲۵] نیز "توسعه راهبردها" و "استفاده از دانش روز" را در بهبود عملکرد با کنترل و مهار آتش‌سوزی پس از زلزله مؤثر دانستند. از طرفی، گلوم و همکاران (۲۰۲۱)[۲۶] نیز با ارزیابی خطر آتش‌سوزی پس از زلزله در شهر استانبول، توجه به ریسک‌ها و شرایط منجر به حریق در ساختمان‌ها و سازه‌های شهری را ضروری دانستند. از دیگر سو، رحیمی جونقانی و نورایی (۲۰۲۴) با ارزیابی تاب‌آوری کالبدی-عملکردی مرکز شهر اصفهان با استفاده از شاخص‌های آماری مکانی و ELECTRE نتیجه گرفتند که برای ایجاد و تقویت تاب‌آوری کالبدی-عملکردی در محدوده مورد مطالعه، می‌بایست نسبت به شناخت بهتر پیچیدگی‌ها و قابلیت‌های سیستم شهری اقدام کرد. علاوه بر این، افزایش آگاهی عمومی نسبت به اهمیت تاب‌آوری و آمادگی در برابر زلزله توصیه شد[۱۵]. ویتورینو و همکاران (۲۰۲۴) فعالیت‌های مربوط به کاهش و مهار آتش‌سوزی پس از زلزله را می‌توان در قالب اقدامات کاهش کوتاه‌مدت شامل مهار تجهیزات آسیب‌پذیر و سنگین، مانند اجاق گاز، مخازن، واحدهای گرمایشی و دیگ‌های بخار و همچنین نصب اتصالات انعطاف‌پذیر برای انشعابات برق، گاز و آب و یک فرآیند میان‌مدت برنامه‌ریزی کرد[۲۷].

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که معیارهای "مدیریت و منابع"، "طراحی و پشتیبانی مالی" و "عملکرد زیرساخت‌های

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

شهری" بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران اثرگذار بوده و از این میان، معیار "مدیریت و منابع" تأثیرگذارترین شاخص در این خصوص بوده است. از سوی دیگر، مشخص شد که "قابلیت مدیریت شرایط اضطراری"، "طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق"، و "سیستم‌های اطلاع‌رسانی"، به‌عنوان تأثیرگذارترین زیرمعیارها بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران اثرگذار بوده‌اند. از این‌رو، توجه و تمرکز بر مدیریت بحران بر اساس نقشه‌های بحران و در هماهنگی با خطرات و آسیب‌های متعاقب، و از طرفی مدیریت منابع، افزایش ایمنی در زیرساخت‌ها، شبکه‌ها و تاسیسات شهری می‌تواند در هنگام وقوع شرایط اضطراری از جمله آتش‌سوزی ناشی از زلزله تا حد زیادی در کاهش خسارت‌های وارده به اموال و شهروندان موثر واقع شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی معیارهای تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله در شهر تهران با استفاده از تکنیک تحلیل شبکه انجام یافت. نتایج نشان داد که معیار "مدیریت و منابع" از بیش‌ترین اهمیت در میان شاخص‌های موثر بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله و از طرفی، بیش‌ترین تعامل با سایر معیارها برخوردار بوده است. از طرفی، شاخص "عملکرد زیرساخت‌های شهری" از بیش‌ترین میزان تاثیرپذیری برخوردار بود. همچنین، مشخص شد که زیرمعیار "طراحی ساختمان‌های ضدزلزله و ضدحریق" از بیش‌ترین اولویت در بین زیرشاخص‌ها برخوردار بوده است. لذا، الزام پیمانکاران به استفاده از مصالح ضدحریق در روند ساخت‌وسازها به‌ویژه در مناطق زلزله‌خیز ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به محدودیت‌ها و کاستی‌های پژوهش از جمله: استفاده از ابزار پرسش‌نامه به‌عنوان ابزار اصلی گردآوری داده‌ها که خروجی آن می‌تواند به‌دلیل مشغولیت زیاد پاسخ‌دهنده، پاسخ‌گوئی سودار بر اساس منافع پاسخ‌دهنده و یا بی‌توجهی وی در پاسخ‌گوئی به سوال‌ها با خطا مواجه باشد؛ غیرقابل تعمیم بودن یافته‌ها برای سایر شهرها به‌دلیل موقعیت جغرافیایی منحصر به‌فرد هر منطقه، و همچنین محدودیت زمانی پژوهش، نسبت به ارزیابی مقوله تاب‌آوری در مقابله آتش‌سوزی ناشی از زلزله در سایر نقاط کشور، استفاده از روش‌های ANP فازی و یا تحلیل رابطه خاکستری برای رتبه‌بندی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، به‌کارگیری فناوری‌های نوین در راستای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و از طرفی، الزام استفاده از مصالح مقاوم در برابر حریق در ساخت‌وسازها توصیه می‌شود. این در حالی است که اندرکنش زیرساخت‌های شهری و تاثیر اجزای زیرساخت‌ها بر هم و همچنین زمان واکنش برای مهار آتش نیز می‌تواند بر تاب‌آوری در مقابله با آتش‌سوزی ناشی از زلزله بسیار تاثیرگذار باشد که ارزیابی آن در پژوهش‌های آتی مفید فایده خواهد بود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست مصوب واحد الکترونیکی دانشگاه آزاد اسلامی با کد ۵۰۳۶۲۹۶۰۰۶۹۰۷۶۴۲۱۹۰۲۷۱۶۲۸۲۵۵۸۱ است که بدین‌وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه سپاسگزاری می‌کنند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]

References

1. Pakru N, Moosavi MS. Urban resilience assessment on earthquake (Case study: District 1 of Tabriz City). Appl Res Geogr Sci 2023; 23(68): 115-35 (In Persian).
2. Ray B, Shaw R. Changing built form and implications on urban resilience: loss of climate responsive and socially interactive spaces. Procedia Eng 2018; 212: 117-24.
3. Gerami M, Mirzaei P. Performance assessment of special and intermediate steel moment resisting frames under post-earthquake fire. Bull Earthq Sci Eng 2020; 6(4): 87-106 (In Persian).
4. Mohammadzadeh B, Omidvar B. Presenting a new method to estimate the amount of water needed to deal with huge fires caused by earthquakes in urban areas. 10th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment, 2020; 12 P (In Persian).
5. Najafi A, Afzali R, Irani Haris S, et al. Investigating the position of political-administrative centers and institutions of the country in relation to earthquake-prone faults in Tehran metropolis. Iran's First Crisis Management Event in 2022, 2023; 19 p (In Persian).
6. Salimi Tari A, Babaei Semiromi F, Tabesh MR, et al. Determining the components of resilience with emphasis on environmental resilience in a possible earthquake in Tehran. Disaster Prev Manage Know 2021; 10(4): 395-407 (In Persian).
7. Feizizadeh B, Ghanbari A, Musazadeh A. GIS modeling of firebase of urban gas distribution networks and seismic effects in its intensification (Case study: District 1 of Tabriz Municipality). J Nat Environ Hazard 2022; 11(32): 87-108 (In Persian).
8. Gholami T, Amin Salehi F, Ghorbaninia Z, et al. Evaluating the possibility of fire occurrence after earthquake and the potential to deal with it through fault tree analysis in the district 12 of Tehran Municipality. 4th Annual Congress of Technology Development of Civil Engineering, Architecture and Urban Development of Iran, 2021; 18 p (In Persian).
9. Ghouchani M, Taji M, Darbaniyan M. Evaluation of the effective factors on increasing the risk of damages to urban buildings in post-earthquake fire crisis by AHP Method. Disaster Prev Manage Know 2019; 9(3): 293-306 (In Persian).
10. Vitorino H, Khiali V, Rodrigues H. Post-earthquake fire risk and loss assessment in urban areas. Innov Infrastruct Solut 2024; 9(1): 26.
11. He Z, Chen H, Yan H, et al. Scenario-based comprehensive assessment for community resilience adapted to fire following an earthquake, implementing the analytic network process and preference ranking organization method for enriched evaluation II techniques. Buildings 2021; 11(11): 523.
12. Davis C, Scawthorn C, Coles R, et al. November. Fire following earthquake risk assessment: the city of Los Angeles' efforts toward water system seismic resilience and sustainability. International Conference on Sustainable Infrastructure, 2019; pp 543-54.
13. Abdi S, Sobhanardakani S, Lorestani B, et al. Analysis and health risk assessment of phthalate esters (PAEs) in indoor dust of preschool and elementary school centers in city of Tehran, Iran. Environ Sci Pollut Res 2021; 28(43): 61151-62.
14. Ranjbaran S, Sobhanardakani S, Cheraghi M, et al. Ecological and human health risks assessment of some polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface soils of central and southern parts of city of Tehran, Iran. J Environ Health Sci Eng 2021; 19(2): 1491-1503.
15. Rahimi Juneghani A, Nooraie H. Evaluation of the physical-functional resilience of Isfahan City center using spatial statistics methods and ELECTRE. Geo-Spat Inf Sci 2024; https://doi.org/10.1080/10095020.2024.2334744.
16. Bakhshi Birjandi H. Survey the management approaches for post-earthquake fire. The 20th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment, 2023; 7 p (In Persian).
17. Himoto K, Suzuki K. Computational framework for assessing the fire resilience of buildings using the multi-layer zone model. Reliability Engineering & System Safety, 2021; 216: 108023.
18. Raiesian M, Ilanloo M, Ebrahimi L, Bozorgmehr K. Comprehensive analysis of urban resilience in the face of earthquake risk (Case study: Sari city). Environ Hazar Manage 2021; 7(4): 383-400 (In Persian).
19. Ongkowijoyo CS, Doloi H. Risk-based resilience assessment model focusing on urban 16. infrastructure system restoration. Procedia Eng 2018; 212: 1115-22.
20. Risco GV, Zania V, Giuliani L. Numerical assessment of post-earthquake fire response of steel buildings. Safety Science, 2023; 157**:** 105921.
21. Valizadeh H, Sobhanardakani S, Kargari N. Prioritization of the effectiveness factors on the safety education for employees of the Fardis Fire Protection Organization using Multi-Criteria Decision-Making Model. J Environ Health Eng 2024; 11(3): 268-86 (In Persian).
22. Arab Mohammadi H. Assessing the performance of buildings during post-earthquake fire. Fifth International Conference and Exhibition of Fire and Urban Safety, 2022; 8 p (In Persian).
23. Zare M. Safety evaluation of Tehran against post-earthquake fire. Third National Conference on Urban Fire Service & Safety, 2018; 7 p (In Persian).
24. Shariat Alavi M, Shapouri S. Assessing the risk of post-earthquake fire and presenting risk reduction strategies in Qazvin and Markazi Provinces. Sci J Rescue Relief 2020; 12(4): 254-69.
25. Lou T, Wang W, Izzuddin BA. A framework for performance-based assessment in post-earthquake fire: Methodology and case study. Eng Struct 2023; 294:116766.
26. Gulum P, Ayyildiz E, Gumus AT. A two level interval valued neutrosophic AHP integrated TOPSIS methodology for post-earthquake fire risk assessment: An application for Istanbul. Int J Disast Risk Reduct 2021; 61: 102330.
27. Vitorino H, Khiali V, Rodrigues H. Post-earthquake fire risk and loss assessment in urban areas. Innovative Infrastructure Solutions,2024; 9: 26.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-08-21]

[DOI: 10.61186/jehe.11.4.456]