



Identification and Analysis of Effective Drivers of Earthquake Resilience with an Emphasis on Futures Studies Approach (Case Study: Khalkhal, Iran)

Behnam Bagheri¹  Seyedeh Freya Aghayri²

¹- Faculty Member, Department of Geography, PayameNoor University, Tehran, Iran. Email: bagheribehnam@pnu.ac.ir

²- Ph.D in Geography and Urban Planning, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 8 Oct 2024

Revised: 7 Dec 2024

Accepted: 26 Feb 2025

Published online: 23 Sep 2025

Keywords:

Resilience,

Earthquake,

Foresight,

MICMAC Analysis,

Khalkhal City.

ABSTRACT

Introduction: Earthquakes represent a significant natural hazard and the most important concern for urban planning in Iran and worldwide. Resilience was adopted as the study's framework due to its appropriate approach and effectiveness in reducing risks from crises and natural hazards.

Data and Method: This was an applied, descriptive-analytical study that utilized a futures studies framework. The study method was based on the novel analytical-structural approach in futures research, employing a mixed-methods strategy that combines quantitative and qualitative models. First, the key components of resilience in Khalkhal were identified and formulated using a Delphi questionnaire. The statistical population consisted of 25 urban experts selected through snowball sampling. The collected data were analyzed using the Structural Cross-Impact Matrix method and processed with MICMAC software, through which the variables were classified according to their levels of influence and dependence on other variables.

Results: Among 49 indicators, after examining the extent and manner of their interrelationships using the MICMAC software, 13 key factors with the highest direct and indirect influence on the future resilience of Khalkhal were identified. These include building quality, building structural type, transportation network, access to main roads, fuel stations, gas stations, power transmission stations, water facilities and resources, watercourses, slope degree and orientation, earthquake epicenter, distance from fault lines, and landslides—all of which play the most significant roles in determining the resilience status of Khalkhal.

Conclusion: The results indicated that the spatial distribution pattern of the driving forces under study, based on the analysis of mutual influences, reflects an overall unstable environmental system. In this system, the resilience drivers of Khalkhal exhibit a complex and intermediate state in terms of both influence and dependence.

Cite this article: Bagheri, Behnam., Aghayri, Seyedeh Freya. (2025). Identification and Analysis of Effective Drivers of Earthquake Resilience with an Emphasis on Futures Studies Approach (Case Study: Khalkhal, Iran). *Urban Social Geography*, 9 (1), 1-19. <http://doi.org/10.22103/juscg.2025.2156>



© The Author(s).

Publisher: Shahid Bahonar University of Kerman.

DOI: <http://doi.org/10.22103/juscg.2025.2156>

¹- **Corresponding Author:** Bagheri, B., Department of Geography, PayameNoor University, Tehran, Iran.

 bagheribehnam@pnu.ac.ir  (+98) 09143531396

English Extended Abstract

Introduction

One of the persistent challenges threatening human societies throughout history has been the occurrence of disasters and hazardous incidents. When communities are unaware and unprepared, such incidents cause devastating impacts across various dimensions of people's lives, including housing, social, economic, environmental, and psychological aspects. In contemporary times, the rapid growth and expansion of urbanization have brought numerous facilities, which in turn have increased crisis-inducing factors. It is predicted that by 2050, more than 70% of the world's population will reside in cities, necessitating trillions of dollars in infrastructure upgrades and improvements within a short period. In this regard, gaining control over environmental and human-induced hazards has become a major challenge for urban communities, particularly in developing countries. Today, foresight approaches in the field of planning emphasize identifying development drivers and key factors within the planning context. This enables planners to gain leverage over the control and management of the future, thereby facilitating more effective and forward-looking planning. Iran, as one of the world's most disaster-prone countries, has experienced severe losses from natural disasters over recent decades, with approximately 90% of its cities being vulnerable to earthquakes of magnitude 5.5 or higher on the Richter scale. Given its proximity to active fault lines, the need to pay more attention to urban resilience in Khalkhal is an undeniable necessity.

Data and Method

This applied study was conducted using a descriptive-analytical method with a foresight-oriented approach. Data were collected through both library research and field surveys. One of the main tools utilized was a structured questionnaire, which was designed, tested, and validated for reliability and validity by experienced experts. The statistical population consisted of 25 experts and specialists from various sectors of urban planning in Khalkhal, identified using the snowball sampling technique. The research process was carried out in two main phases. In the first phase, influential factors and indicators affecting the city's earthquake resilience were identified using the Delphi technique and a questionnaire. The second phase involved two steps: first, the cross-impact matrix was completed, and the correlation between factors was determined, rated by experts on a scale from 0 to 3, where 0 indicated "no effect", 1 "weak effect", 2 "moderate effect", and 3 "strong effect". In the second step, the influential factors were evaluated and analyzed using the MICMAC software, and finally, the key factors or key drivers were identified.

Results

The urban resilience of Khalkhal is influenced by various forces and factors. After completing the computational stages using MICMAC software, the level of influence and dependence of each variable was determined. According to the analytical results, the natural dimension (natural variables) demonstrated a higher degree of influence than dependence. However, in the economic and physical dimensions, the situation is reversed, as dependence exceeds influence. The percentage or relative difference between influence and dependence in these dimensions is considerable, while in the social and infrastructural dimensions, this difference is relatively small. Among the evaluated variables, the following exhibited the highest dependence: building age, building quality, type of residential area, accessibility to main roads, accessibility to sports centers, access to water resources and facilities, proximity to gas stations, housing ownership status, and population density. The distribution and position of the variables based on their direct effects, as analyzed in MICMAC, revealed that among the 49 identified key factors influencing Khalkhal's urban resilience, 13 factors—namely building quality, building structural type, transportation network, accessibility to main roads, fuel stations, gas stations, power transmission stations, water facilities and

English Extended Abstract

resources, watercourses, slope degree and orientation, earthquake epicenter, distance from fault lines, and landslides—exert the greatest influence on the city’s resilience to earthquakes.

Conclusion

According to the research findings, the necessity of adopting a foresight-oriented approach in the resilience of Khalkhal is of vital importance. The city’s natural conditions—including steep slopes, fault lines adjacent to watercourses, deteriorated urban fabrics, and infrastructural factors—have created a hazardous urban structure that demands special attention to minimize the impacts of natural hazards. Enhancing compliance with construction standards and simultaneously accounting for natural hazards require a focused approach to ensure that, in the future, safe and well-assessed locations are selected for the establishment of urban infrastructure in Khalkhal. Therefore, within the framework of urban resilience based on a foresight approach, the natural, infrastructural, and physical factors, respectively, play the most influential roles.

شناسایی و تحلیل پیشران‌های مؤثر در زمینه تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه با تأکید بر روش آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهر خلخال)

بهنام باقری^۱ ✉ ، سیده فریا آقاییاری^۲

^۱- عضو هیات علمی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: bagheribehnam@pnu.ac.ir

^۲- دکتری جغرافیا برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۷</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۱۷</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۸</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۷/۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری، زمین‌لرزه، آینده‌نگاری، تحلیل میک‌مک، شهر خلخال.</p>	<p>مقدمه: زمین‌لرزه یکی از مخاطرات طبیعی است که به عنوان مهم‌ترین مبحث برنامه‌ریزی شهری در ایران و جهان شناخته می‌شود. تاب‌آوری به دلیل رویکرد و روشی مناسب در جهت کاهش خطرات حاصل از بحران‌ها و مخاطرات طبیعی، به‌عنوان رویکرد پژوهش حاضر انتخاب شده است.</p> <p>داده و روش: این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش به صورت توصیفی - تحلیلی با رویکرد آینده‌پژوهی است. روش پژوهش بر اساس روش جدید علم آینده‌پژوهی تحلیلی - ساختاری با به کارگیری ترکیبی از مدل‌های کمی و کیفی است. در گام نخست مؤلفه‌های مؤثر در تاب‌آوری شهر خلخال شناسایی و در قالب پرسش‌نامه دلفی تهیه و تدوین شد. جامعه آماری ۲۵ نفر از متخصصین حوزه شهری بر اساس نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شده و با استفاده از ماتریس تحلیل اثرات متقابل ساختاری و در قالب نرم‌افزار MICMAC پردازش شد و نوع متغیرها با توجه به اثرگذاری و اثر پذیری بر سایر متغیرها مشخص گردید.</p> <p>یافته‌ها: از میان ۴۹ شاخص پس از بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بر یکدیگر در خروجی نرم‌افزار میک‌مک، ۱۳ عامل کلیدی با بیشترین میزان تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم بر آینده تاب‌آوری شهر خلخال مشخص شد، که کیفیت بنا، نوع سازه بنا، شبکه حمل و نقل، دسترسی به معابر اصلی، جایگاه سوخت، ایستگاه گاز، ایستگاه انتقال برق، تأسیسات و منابع آب، مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل، رانش زمین، بیشترین نقش را در وضعیت تاب‌آوری شهر خلخال ایفا می‌کنند.</p> <p>نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق نشان‌دهنده آن است که الگوی پراکندگی پیشران‌های مورد مطالعه از نظر تحلیل اثرات متقابل در مجموع بیانگر وضعیت یک سیستم محیطی ناپایدار است که در آن پیشران‌های تاب‌آور شهر خلخال از نظر اثرگذاری و اثر پذیری حالت پیچیده و بینابین دارد.</p>

استناد: باقری، بهنام؛ آقاییاری، سیده فریا. (۱۴۰۴). شناسایی و تحلیل پیشران‌های مؤثر در زمینه تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه با تأکید بر روش آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهر خلخال). *جغرافیای اجتماعی شهری*، ۱۲ (۲)، ۱-۱۸. DOI: <http://doi.org/10.22103/juscg.2025.2156>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه شهید باهنر کرمان.

DOI: <http://doi.org/10.22103/juscg.2025.2156>

مقدمه

یکی از معضلاتی که همواره و طی قرون متمادی زندگی جوامع انسانی را تهدید کرده است، وقوع بلایا و سوانحی است که در صورت ناآگاهی و نداشتن آمادگی، صدمات جبران‌ناپذیری را به ابعاد مختلف زندگی انسان‌ها اعم از حوزه‌های سکونت، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، روان‌شناختی وارد می‌کند (علیزاده، ۱۳۹۵: ۲۹). کلان‌شهرهای امروزی همواره به دلایل مختلف در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دادند. این مخاطرات به دلیل آسیب‌های جانی و مالی فراوانی نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات فوری می‌باشند (ساسان پور و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۰). در این میان زلزله یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که اساساً به‌عنوان پدیده‌های غیرقابل کنترل در نظر گرفته می‌شوند (Fournier Dale, 1982: 147).

امروزه، رشد و توسعه شهرنشینی موجب پدید آمدن تسهیلات فراوانی شده که همراه خود عوامل بحران‌زا را افزایش داده است (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۲۹). به طوری که پیش‌بینی می‌شود با این روند بیش از ۷۰ درصد از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در شهرها زندگی خواهند کرد که به تریلیون‌ها دلار برای به روزرسانی و بهبود زیرساخت‌ها در یک دوره کوتاه نیاز دارد (ساکر^۱ و همکاران، ۲۰۲۰: ۸). در این بین غلبه بر مخاطرات محیطی و انسان‌ساز برای جوامع شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به یک چالش کلیدی تبدیل شده است (چن^۲ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۷). با گسترش شهرنشینی مباحثی مانند تاب‌آوری شهری برای پایدار کردن شهرها در مقابل حوادث طبیعی و انسانی مورد توجه قرار گرفته است. وقوع حوادث طبیعی نظیر سیل، زلزله و طوفان اغلب تأثیرات مخربی بر سکونتگاه‌های انسانی می‌گذارد و ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را ویران و عوارض اجتماعی اقتصادی پر دامنه‌ای بر جوامع تحمیل می‌کند (کریمیان و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹). بررسی ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری، در واقع، نحوه تأثیرگذاری ظرفیت‌های اجتماعی، اقتصادی، نهادی، سیاسی و اجرایی جوامع در افزایش تاب‌آوری در برابر حوادث طبیعی و انسانی است (حاتمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۵).

امروزه رویکردهای آینده‌پژوهی در عرصه برنامه‌ریزی بر یافتن عوامل کلیدی و پیشران‌های توسعه در فضای برنامه‌ریزی تأکید دارند تا از این راه برنامه‌ریز با در اختیار داشتن اهرم کنترل و مدیریت آینده، به برنامه‌ریزی مطلوب آینده بپردازد (امانپور و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۷۳). موضوع آینده و شناخت بلندمدت آن در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای از اهمیت فراوانی برخوردار است. عدم شناخت هوشمندانه آینده از ابزارهای برنامه‌ریزی و نحوه به‌کارگیری آن‌ها در فرایند برنامه‌ریزی متأثر است (کریمیان و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹). در پنج دهه گذشته به طور چشمگیری مطالعات آینده‌پژوهی شناخت روندها و نیروهایی که آینده را می‌سازند توسعه داده‌اند که طیف وسیعی از روش‌ها و تکنیک‌هایی که قابلیت کشف آنچه در پیش رو نهفته است را در قالب یک روش جامع در بر می‌گیرد (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵: ۳).

کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای حادثه‌خیز دنیا، در چند دهه اخیر به موجب وقوع حوادث طبیعی متحمل خسارات وسیعی شده است تا جایی که نود درصد شهرهای کشور در برابر زلزله‌ای ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر شده‌اند (نیک پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۹۸). به جهت قرارگیری شهر خلخال نزدیک به گسل‌های فعال کشور، توجه و تأکید بیشتر در امر تاب‌آوری شهری در شهر خلخال را ضرورت می‌بخشد. بلایای طبیعی به دلایل مختلفی از جمله شرایط خاص سکونتگاهی، تراکم بالای جمعیت، بدتر شدن شبکه‌های دسترسی و فجایع طبیعی، تهدیدی جدی و اساسی برای وقوع فاجعه انسانی در جوامع و مناطق شهری ایجاد می‌کنند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل اصلی مؤثر بر تاب‌آوری شهر خلخال انجام شده است. با پرداختن به این سؤال پژوهش که ممکن است در بسیاری از جنبه‌های تصمیم‌گیری شهری و

1 Sarker

2 Chen

منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان نقش عناصر مهم در تاب‌آوری را منعکس کرد؛ بنابراین، این تحقیق ما را به این سؤال سوق می‌دهد که پیشران‌های کلیدی در تاب‌آوری شهر خلخال چه نقشی دارند؟

پیشینه نظری

در حال حاضر تاب‌آوری در شهرها با در نظر گرفتن، شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده با اجزای به هم وابسته تعریف می‌شود. تقلیل میزان آسیب‌پذیری‌ها و بحران‌های انسان ساخت و بالا بردن سطح انعطاف‌پذیری محیط کالبدی شهرها در برابر تنش‌های ناشی از بروز تهدید و نیز به حداقل رساندن زمان بازتوانی همچنین ارتقا و بهبود بخشی سطح زندگی افراد و به طور کلی، تاب‌آور ساختن شهرها در برابر تهدید، از جمله مهم‌ترین عواملی است که می‌بایست در شهرها مورد توجه قرار گیرد (مور^۱ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۶۰). تاب‌آوری شهری معمولاً دارای هفت ویژگی کلیدی برای محافظت در برابر آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی است بازتابی، زائد، قوی، فراگیر یکپارچه مدیر و انعطاف‌پذیر سیستم شهری (زنگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲: ۲۴۸۰).

رویکرد تاب‌آوری شهری یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین رویکردهایی است که ضامن بقای سکونتگاه‌های انسانی می‌باشد. این رویکرد راهنمایی است تا مسئولین و دست‌اندرکاران از تصمیمات انعطاف‌پذیر خط‌مشی‌های جدید برای مدیریت شهری استفاده کنند (نظم فر و پاشازاده ۱۳۹۷: ۱۰۱). تاب‌آوری دارای ابعاد متعدد، کالبدی، اجتماعی اقتصادی نهادی، معیشتی فضایی و غیره است (حاتمی و ذاکر حقیقی، ۱۳۹۹: ۱۵۶). در واقع تاب‌آوری به دلیل پویا بودن واکنش جامعه در برابر مخاطرات، نوعی آینده‌نگری است و به گسترش گزینش‌های سیاستی برای رویارویی با عدم قطعیت و تغییر هم کمک می‌کند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۹: ۸۷). جدول شماره ۱ تعاریف تاب‌آوری از دیدگاه دانشمندان را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تعاریف تاب‌آوری از دیدگاه دانشمندان رشته‌های مختلف

تعریف	محقق / سازمان
مجموعه‌ای از خواص غیرخطی متنوع و متفاوت در سیستم‌های پیچیده و پویا اجتماعی است که اغلب در طول زمان به طور متفاوتی تغییر می‌کند.	Abenayake, 2016
تاب‌آوری ظرفیت عملکردی از سرمایه جامعه (زیرساخت‌ها، مردم و منابع) برای محدود کردن اختلال در تعادل است (سطح فعالیت‌های قبل از رویداد)	Kontokosta, 2018
ظرفیت تحمل مخاطرات بیشتر، بازگشت سریع پس از مخاطرات و کاهش تخریب در اثر مقدار معینی از مخاطرات.	غیاثوند و همکاران، ۱۳۹۴
تاب‌آوری توانایی یک سیستم در واکنش و بازیابی از سوانح بوده و شامل شرایط ذاتی است که به سیستم اجازه می‌دهد تأثیرات را جذب و با فرایندهای سازگاری در سازمان‌دهی مجدد و درس گرفتن از واکنش‌ها انطباق پیدا کند.	مبارکی، همکاران، ۱۳۹۶

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

تاب‌آوری به دو دلیل مهم است: اول این‌که چون آسیب‌پذیری سیستم‌های اجتماعی و فناوری شده به طور کامل قابل پیش‌بینی نیست و دوم این‌که مردم و دارایی‌ها در شهرهای تاب‌آور باید در مواجهه با حوادث بهتر از مکان‌ها و جوامعی که کمتر انطباق‌پذیر هستند، عمل کنند (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۸).

1 Moore

2 Zeng

امروزه آینده‌نگاری به طور گسترده‌ای در بسیاری از علوم و برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها به کار گرفته می‌شود. این واژه طیف وسیعی از رویکردهایی است که بهبود فرآیند تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند، رویکردهایی که تفکر درباره آینده بلندمدت را به همراه دارند (علی‌اکبری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۷۸). در ایران، سابقه آینده‌نگاری و برنامه‌ریزی به برنامه‌های ۵ ساله کشور بر می‌گردد و سند چشم‌انداز توسعه کشور، در افق ۱۴۰۴ که دو دهه آینده را نشانه گرفته، اولین سند تفکر استراتژیک و آینده‌نگاری است که بر اساس آن، محورهای توسعه کشور در بخش‌های مختلف تدوین و با انجام تقسیم‌کار منطقه‌ای، هر یک از استان‌های کشور عهده‌دار مسئولیت‌هایی بر اساس قابلیت‌های خود در راستای تحقق آینده مطلوب کشور گشته‌اند (رهنما و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۲).

آینده‌پژوهی در مقام یک دانش، «هنر» پذیرش قطعی نبودن آینده و محتمل دانستن امکان وقوع حالت‌های گوناگونی از آینده به جای آینده‌ای خاص است. آینده‌پژوهی از آینده‌های مختلفی خبر می‌دهد که هرگز مطمئن نیست و همیشه آستن وقوع رویدادهای غیرمنتظره است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۷). آینده‌پژوهی تاب‌آوری شهری به ماهیت امروزی شهرها و شهرهای آینده می‌پردازد که آن بخشی از پست مدرنیسم محسوب می‌شود. این مطالعه به دنبال این است که از واقعیت پوشیده آینده شهرها رخ نمایی کند تا به برنامه‌ریزی آن بپردازد (پوراحمد و همکاران، ۱۴۰۱: ۸۷). همه هدف آینده‌پژوهی تاب‌آوری شهری این است که آینده امروزی را برای شهرهای تاب‌آور فردا طراحی کند و متناسب با آن برنامه‌هایی را برای آن سامان دهد تا به آنچه از شهر فردا می‌خواهد دست یابد؛ این فرض از آینده تعیین نمی‌کند که شهرهای تاب‌آور آینده چگونه است یا مناسبات و مقتضیات آن کدام است؛ زیرا پذیرفته شده است که بر اساس روند شناسی چرخش کیهان، آینده ممکن است به کلی متفاوت با چیزی باشد که در دانش امروزی آمده است (ابدالی و همکاران ۱۴۰۱: ۷).

پیشینه عملی

مطالعاتی متعدد در رابطه با تاب‌آوری و مدیریت مخاطرات طبیعی در داخل و خارج انجام شده است که در ذیل به نمونه‌هایی منتخب از مطالعاتی که در دنیا در ارتباط با پژوهش مورد مطالعه بوده اشاره می‌گردد:

امان‌پور و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل وضعیت و تعیین استراتژی‌های مبتنی بر سناریو در تاب‌آوری کلان شهرهای ایران (موردپژوهشی: کلان‌شهر اهواز) پرداختند. بر اساس نتایج می‌توان گفت که تاب‌آوری اجتماعی کلان‌شهر اهواز از وضعیت خوبی برخوردار نیست.

اسکندری و همکاران (۱۳۹۸) به شناسایی ابعاد تاب‌آوری و تأثیر آن بر پایداری شهری (مطالعه موردی: شهر رشت) پرداختند. نتایج مدل اندازه‌گیری ضرایب استاندارد شده، نشان دهنده همبستگی بین متغیرها و شاخص‌ها بوده است.

لطیفی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (نمونه موردی: منطقه ۱۰ شهر تهران) با استفاده از روش توصیفی تحلیلی و تکیه بر روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری در نرم‌افزار MICMAC از بین ۴۱ متغیر اولیه تأثیرگذار، ۱۱ عامل کلیدی در تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ شهر تهران در برابر زلزله را شناسایی کردند و میزان تأثیرگذاری مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر یکدیگر را مورد سنجش قرار دادند.

لاباکا^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای تحت عنوان تعریف نقشه راه به سمت تاب‌آوری شهری این بود که یکی از مهم‌ترین ابعاد بهبود تاب‌آوری شهرها تاب‌آوری نهادی است چرا که، بعد نهادی وظیفه هماهنگی بین سازمان‌های دخیل در این امر را در فرایند بهبود تاب‌آوری دارد.

¹ Labaka

زنگ^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی، مفاهیم ابعاد و دیدگاه‌ها تاب‌آوری شهری برای پایداری شهری پرداخته‌اند، نتایج این پژوهش نشان داد تاب‌آوری و پایداری اساساً با حفظ سلامت و رفاه اجتماعی در یک چارچوب وسیع‌تر از تغییرات محیطی مرتبط است. تفاوت‌های قابل‌توجهی در تأکید و مقیاس زمانی آن‌ها، به ویژه در زمینه شهرنشینی وجود دارد.

بررسی پیش‌ران‌های مؤثر بر وضعیت تاب‌آوری این منطقه را بیش از پیش ضروری ساخته است. با توجه به این ضرورت، هدف اصلی این مقاله تحلیل ساختاری پیش‌ران‌های مؤثر بر وضعیت آینده تاب‌آوری شهر خلخال در برابر مخاطرات محیطی است. جهت ردیابی علمی این هدف سؤال پژوهش عبارت است از: پیش‌ران‌های مؤثر بر وضعیت آینده تاب‌آوری شهر خلخال در برابر مخاطرات محیطی چه هستند؟

داده‌ها و روش‌شناسی

این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش به صورت توصیفی - تحلیلی با رویکرد آینده‌پژوهی است. گردآوری اطلاعات در این تحقیق در دو قالب کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق پرسش‌نامه بوده که پس از طراحی و آزمون و تأیید روایی و پایایی توسط کارشناسان خبره تکمیل شده است. جامعه آماری در این پژوهش، ۲۵ نفر از کارشناسان و متخصصان بخش‌های مختلف برنامه‌ریزی شهری در شهر خلخال هستند که با استفاده از تکنیک گلوله برفی شناسایی شدند.

فرایند کار از دو مرحله کلی تشکیل شده است؛ در مرحله اول با استفاده از تکنیک دلفی و ابزار پرسش‌نامه عوامل و شاخص‌های مؤثر در تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه شناسایی شد. در مرحله دوم که خود به دو قسمت تقسیم می‌شود، در فاز اول برای تکمیل ماتریس اثرات متقابل و روشن شدن میزان ارتباط بین عوامل، از نظرات خبرگان در طیفی از عدد صفر تا سه سنجیده شده که عدد صفر «بدون تأثیر» عدد یک «تأثیر ضعیف»، عدد دو «تأثیر متوسط» و عدد سه «تأثیر زیاد» را نشان می‌دهند و در فاز دوم با استفاده از نرم‌افزار MICMAC عوامل مؤثر مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت و در نهایت عوامل کلیدی یا پیش‌ران‌های کلیدی شناسایی شدند. در واقع نرم‌افزار میک‌مک جهت انجام محاسبات پیچیده تحلیل اثر متقاطع طراحی شده است. میزان ارتباط متغیرها با اعداد بین صفر تا سه سنجیده می‌شود که صفر به منزله عدم تأثیر، یک به منزله تأثیر ضعیف، دو به منزله تأثیر متوسط و عدد سه به منزله تأثیر زیاد و حرف P به منزله وجود رابطه بالقوه بین متغیرها است؛ بنابراین اگر تعداد متغیرهای شناسایی شده n متغیر باشد، یک ماتریس $n \times n$ از روابط بین متغیرها به دست می‌آید. ماتریس‌ها و نمودارهای خروجی نرم‌افزار دو نوع هستند:

۱- ماتریس اثرات مستقیم متغیرها و نمودارهای مربوطه

۲- ماتریس روابط غیرمستقیم بین متغیرها و نمودارهای مرتبط با آن (ربانی، ۱۳۹۱: ۲۶۳).

خروجی مدل تحلیل اثر متقابل، روابط بین متغیرها را نشان می‌دهد که نرم‌افزار میک‌مک قابلیت تبدیل روابط به اشکال و نمودارهای ویژه را دارا بوده و با امکانات خود تحلیل آسان روابط و ساختار سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد (ربانی، ۱۳۹۱: ۴).

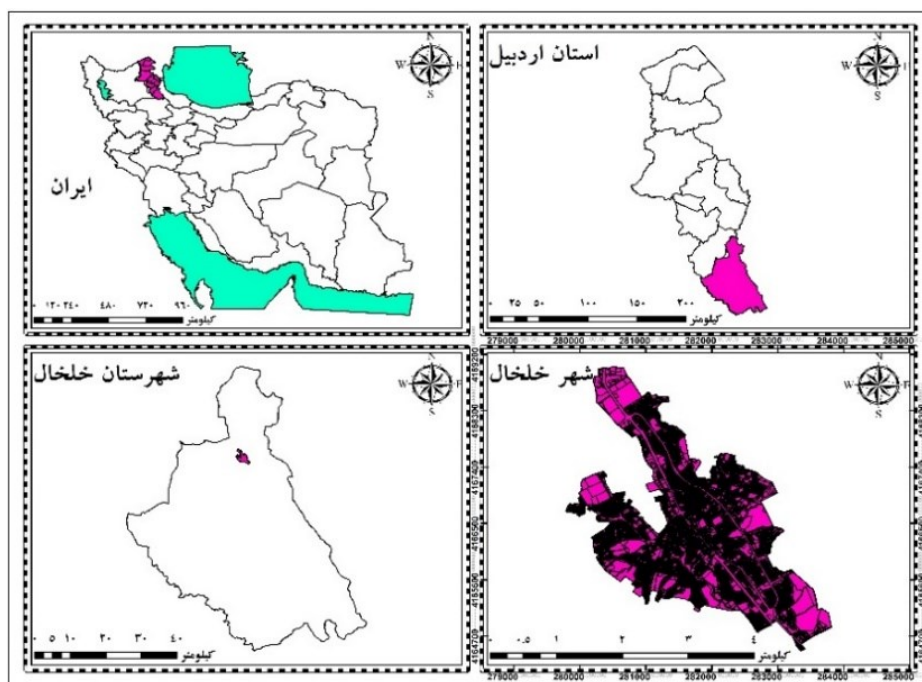
قلمرو پژوهش

شهرستان خلخال در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه الی ۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. شهرستان خلخال به عنوان حوزه نفوذ شهر خلخال و به عنوان

¹ Zeng

جنوبی‌ترین شهر استان اردبیل بوده که از طرف شمال به شهرستان گیوی، از شرق به استان گیلان، از غرب به استان آذربایجان شرقی و شهرستان میانه و از جنوب به استان زنجان منتهی می‌شود. این شهرستان، یک منطقه کوهستانی می‌باشد که ارتفاع بلندترین نقطه آن ۳۳۰۰ متر (قله آق داغ) و پست‌ترین نقطه ۵۲۰ متر (در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن) است. این شهرستان بر اساس تقسیم‌بندی جدید دارای ۳ شهر به نام‌های هروآباد، کلور و هشتجین است. همچنین شهرستان خلخال از نظر سیاسی به سه بخش و هشت دهستان تقسیم می‌شود (رهنمایی، ۱۳۸۸: ۲۰).

بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی و نیز زمین‌لرزه‌های ثبت شده در صد ساله اخیر پیرامون شهر خلخال حاکی از نا آرام بودن پوسته زمین در این نواحی است. شدت زمین‌لرزه‌های رخ داده در شعاع ۲۰۰ کیلومتری پیرامون شهر حاکی از بروز زمین‌لرزه‌های مهیب با شدت بیش از ۲/۶ در برخی از نواحی بوده که شهر خلخال را نیز متأثر نموده است. (طرح توسعه و عمران جامع شهر خلخال سال ۹۸). با توجه به تحولات زمین ساختی متعدد که در منطقه حادث گردیده و موقعیت شهر خلخال که در حد بین دو زیر بلوک که با ساختار چینه‌های تکنونیک متفاوت قرار گرفته است، می‌توان گفت شهر خلخال به لحاظ ویژگی‌های زمین ساختی و لرزه زمین ساخت، دارای موقعیت حساس و با ریسک‌پذیری بالاست. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر خلخال را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی شهر خلخال (ترسیم: نگارندگان)

یافته‌ها

در این بخش بر اساس روش تحقیق مقاله اقدام به برآورد و بررسی عوامل تأثیرگذار بر تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه شد؛ همچنین با دیدی سیستماتیک و ساختاری سعی شده تمامی عوامل دخیل در تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه را مورد تحلیل و بررسی قرار داده و با استفاده از روابط ایجاد شده بین این موارد، عوامل کلیدی و پیشران که مهم‌ترین عامل می‌باشند استخراج گردید؛ لذا جهت نائل شدن به این امر ابتدا با استفاده از ماتریس اثرات متقاطع تأثیرگذاری متغیرها امتیازدهی شده و پیشران‌ها در قالب استخراج از نرم‌افزار MICMAC و ارتباط عوامل دخیل در تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه را مورد تحلیل قرار دادیم و نهایتاً عوامل کلیدی شناسایی شد.

- تحلیل کلی نرم افزار میک مک

در خصوص شناسایی پیشران‌های کلیدی تاب‌آوری شهر خلخال از نظرات ۲۵ کارشناسان مربوطه استفاده شد. به گونه‌ای که پرسشنامه‌ای به صورت ماتریس اثرات متقاطع در ابعاد ۴۹ در ۴۹، برای تعیین اثرات متقاطع عوامل طراحی شد (تعداد خانه‌های قابل پاسخ برابر با ۲۰۴۱)، سپس به کارشناسان مربوطه داده شد تا میزان اثرگذاری عوامل بر هم را از صفر تا ۳ امتیاز دهی کنند؛ نهایتاً میانگین امتیازها به عنوان امتیاز نهایی انتخاب و اعداد وارد نرم‌افزار میک‌مک شد و خروجی‌ها (پیشران‌های کلیدی) به دست آمد. در ادامه مراحل مربوط به این بخش از پژوهش به صورت گام به گام ارائه شده است.

- تحلیل تأثیرات متقابل ابعاد و متغیرهای تاب‌آوری شهری

در این بخش متغیرهای تحقیق با بهره‌گیری از روش تحلیل تأثیرات متقابل در محیط نرم‌افزار میک‌مک بررسی و تحلیل شده‌اند. بدین منظور از ماتریسی به ابعاد ۴۹*۴۹ که شامل چهار بعد اجتماعی (۷مورد)، اقتصادی (۳مورد)، کالبدی (۱۴مورد)، زیرساختی (۱۷مورد) و طبیعی (۸مورد) با ۴۹ متغیر است استفاده شد تا وضعیت هر یک از آن‌ها در سیستم (تاب‌آوری شهری) مشخص گردد. از پاسخ‌دهندگان درخواست شد که به مقایسه دوتایی متغیرهای تحقیق بپردازند.

جدول ۲- تحلیل اولیه داده‌های ماتریس و آماره‌های آن

ابعاد ماتریس	تعداد تکرار	بدون تأثیر (۰)	تأثیر ضعیف (۱)	تأثیر متوسط (۲)	تأثیر قوی (۳)	جمع	درجه پرشدگی
۴۹*۴۹	۲	۱۰۴۵	۸۴۸	۳۹۵	۱۱۳	۱۳۵۶	۵۶ درصد

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

تاب‌آوری شهر خلخال تحت تأثیر نیروها و عوامل گوناگونی است. پس از انجام مراحل محاسباتی توسط میک‌مک میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر یک از متغیرها مشخص گردید که در جدول شماره (۳) اشاره شده است.

جدول ۳- تأثیر مستقیم و غیرمستقیم ابعاد و متغیرها بر همدیگر

بعد	متغیر	اثرات مستقیم		اثرات غیرمستقیم	
		تأثیرگذاری	تأثیرپذیری	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری
کالبدی	نوع سازه	۴۷	۴۳	۲۶۳	۲۲۴
	عمر بنا	۳۴	۵۶	۱۷۵	۲۸۶
	ارتفاع بنا	۳۱	۴۱	۱۷۵	۲۱۱
	کیفیت بنا	۲۹	۵۷	۱۶۳	۲۹۴
	مساحت زیربنا	۲۹	۴۰	۱۵۲	۲۱۴
	تعداد طبقات	۳۱	۳۸	۱۶۶	۲۰۴
	فاصله از جایگاه سوخت	۱۸	۳۸	۹۶	۲۰۲
	فاصله ایستگاه خط برق	۱۸	۴۴	۲۷۱	۲۱۳
	فاصله از ایستگاه تقلیل فشار گاز	14	۳۹	۶۶	۱۹۲
	شبکه حمل و نقل	۵۴	۴۶	۲۸۰	۲۲۳
	نمای بنا	۳۰	۳۴	۱۲۷	۱۸۹
	سطح اشغال بنا	۲۹	۴۲	۱۴۵	۲۲۰
	نوع محل سکونت	۴۶	۵۷	۲۲۸	۲۸۰
	فاصله از منابع آب	۴۰	۴۱	۲۳۸	۲۱۱
اجتماعی	دسترسی به مرکز درمانی	۲۹	۳۲	۱۴۰	۱۵۹
	دسترسی به آتش‌نشانی	۳۶	۴۲	۱۸۵	۲۱۳

۲۴۳	۲۸۹	۵۰	۵۲	دسترسی به معابر اصلی		
۲۱۰	۱۳۰	۴۲	۲۴	مراکز مخابرات		
۲۱۷	۱۴۸	۴۲	۲۸	پارک و فضای سبز		
۱۹۶	۱۲۲	۳۸	۲۰	فضای بایر		
۲۰۳	۱۹۳	۳۸	۳۹	دسترسی به پلیس		
۲۳۷	۱۶۷	۴۷	۴۰	دسترسی به مراکز آموزشی		
۲۵۴	۱۵۹	۴۹	۳۸	دسترسی به مراکز مذهبی		
۲۹۰	۳۲۳	۵۷	۷۶	دسترسی به مراکز ورزشی		
۲۴۵	۳۹۱	۵۰	۸۵	دسترسی به منابع آب		
۲۵۱	۳۵۹	۵۱	۷۶	دسترسی به تأسیسات آب		
۲۳۷	۱۷۸	۴۷	۳۸	دسترسی به جایگاه سوخت		
۲۴۵	۱۵۶	۵۲	۳۴	دسترسی به ایستگاه گاز		
۲۳۳	۱۱۴	۴۶	۶۰	دسترسی به ایستگاه توزیع برق		
۲۴۷	۳۴۳	۴۸	۷۴	انتقال برق		
۱۲۷	۸۱	۲۷	۱۵	دسترسی به گورستان		
۱۰۶	۸۰	۲۳	۱۹	ساختار جنسی		اجتماعی
۱۱۴	۹۷	۲۳	۲۵	خانوارهای بی سرپرست		
۱۲۲	۱۷۳	۲۶	۴۱	ساختار سنی		
۱۵۳	۸۲	۳۱	۲۱	وضعیت معلولیت جسمی		
۳۴۲	۳۰۸	۷۱	۶۶	تراکم جمعیت		
۹۳	۷۹	۱۸	۲۲	زنان مطلقه		
۱۵۶	۹۲	۳۰	۲۳	سطح تحصیلات		
۳۰۴	۱۵۴	۶۳	۲۹	وضعیت مالکیت مسکن	اقتصادی	
۱۳۹	۲۶	۲۷	۹	نسبت افراد بیکار		
۱۶۱	۳۳	۳۱	۹	مالکیت وسیله نقلیه		
۱۸۶	۴۷۸	۳۷	۸۹	فاصله از غسل	طبیعی	
۱۷۸	۴۰۱	۳۶	۶۹	رانش زمین		
۱۷۳	۴۲۲	۳۴	۷۵	کانون زمین لرزه		
۱۸۸	۳۹۲	۳۷	۶۸	شیب		
۱۷۷	۳۱۲	۳۶	۵۴	جهت شیب		
۱۵۳	۳۲۴	۳۱	۵۶	مسیل		
۱۴۸	۲۸۱	۳۰	۵۰	بارش		
۱۰۲	۲۱۰	۱۹	۳۸	دما		

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

بر اساس نتایج تحلیلی نرم افزار، تأثیرگذاری بعد طبیعی (متغیرهای بعد طبیعی) بیشتر از تأثیرپذیری آن هاست. ولی در خصوص بعد اقتصادی و کالبدی وضعیت متفاوت است، به گونه ای که تأثیرپذیری این ابعاد بیشتر از تأثیرگذاری آن می باشد. تفاوت امتیازی یا درصدی تأثیر پذیری و تأثیرگذاری در ابعاد یاد شده قابل توجه است؛ اما برای دو بعد اجتماعی و زیرساختی، این تفاوت اندک است.

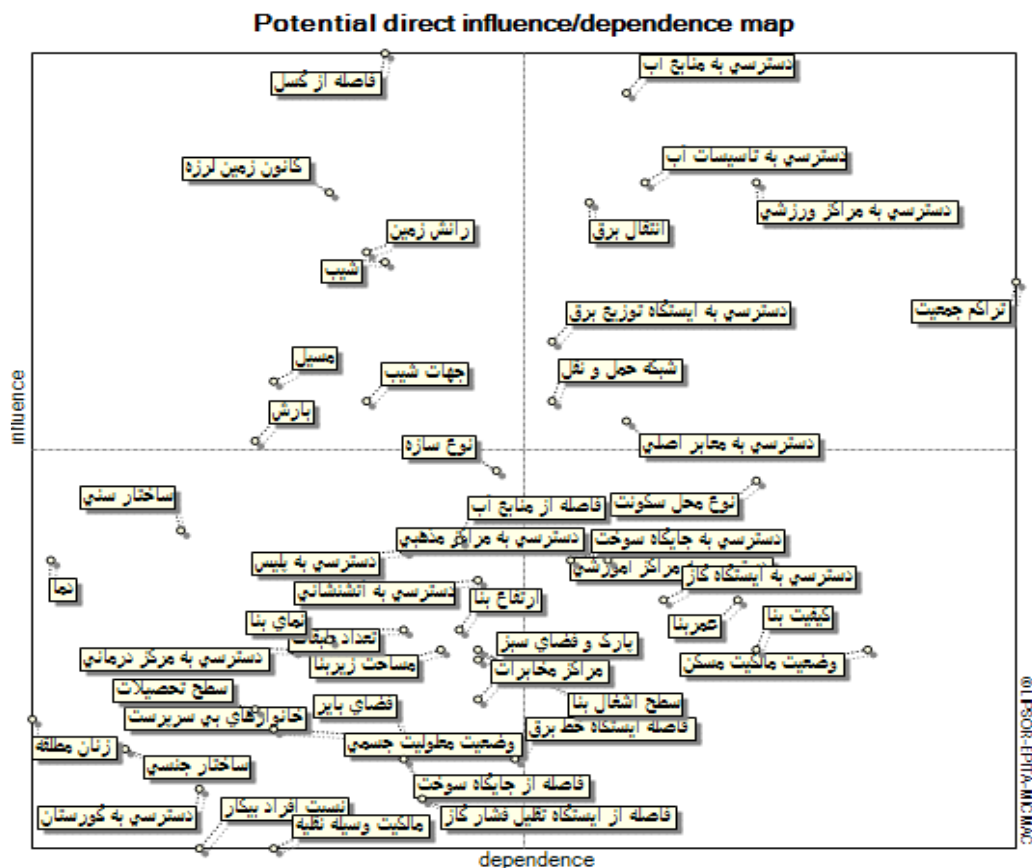
از سوی دیگر، در بین متغیرهای مورد سنجش، به ترتیب متغیرهای عمر بنا، کیفیت بنا، نوع محل سکونت، دسترسی به معابر اصلی، دسترسی به مراکز ورزشی، دسترسی به منابع آب، دسترسی به تأسیسات آب، دسترسی به ایستگاه گاز، وضعیت مالکیت مسکن و تراکم جمعیت بیشترین تأثیرپذیری را دارند (جدول ۳).

ماتریس تأثیرات متقابل غیرمستقیم حاکی از اختلاف قابل توجه در اثرگذاری و اثر پذیری دو بعد کالبدی و اقتصادی است. به گونه‌ای که تأثیرپذیری غیر مستقیم سیستم (تاب‌آوری شهری) ناشی از بعد اقتصادی و کالبدی بیشتر از اثرگذاری آن می‌باشد؛ اما این قضیه در بعد طبیعی معکوس بوده است؛ به گونه‌ای که اثرگذاری این بعد بیشتر از اثر پذیری‌اش بوده است. ضمناً به ترتیب عمر بنا، کیفیت بنا، نوع محل سکونت، دسترسی به مراکز ورزشی، تراکم جمعیت و وضعیت مالکیت مسکن هم به عنوان تأثیر پذیرترین متغیرها به صورت غیر مستقیم می‌باشند (جدول ۳).

– جایگاه متغیرها و میزان تأثیرگذاری آن‌ها

به طور کلی، اگر در نمودار پراکندگی عوامل به صورت L شکل باشد، نشان دهنده پایداری سیستم و چنانچه پراکندگی عوامل حول محور قطری صورت گیرد، بیانگر ناپایداری سیستم است. همچنین قرارگیری عوامل در بخش‌های مختلف نمودار گویای وضعیت‌های متفاوتی است که هر یک را در تحلیل دسته‌بندی عوامل تعیین می‌کند (باقری و همکاران، ۱۴۰۲: ۷۲). نحوه پراکندگی متغیرهای پژوهش حاکی از موضوع است که سیستم ناپایدار است (شکل ۲).

با توجه به مطالب بالا در این تحقیق نیز به دسته‌بندی متغیرها و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها در تاب‌آوری شهر خلخال پرداخته شد برای دسته‌بندی مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر با استفاده از تحلیل نرم‌افزار میک‌مک نموداری ترسیم گردید، شکل ۲ نقشه پراکندگی متغیرها و جایگاه آن‌ها در محور تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه پراکندگی متغیرها بر اساس تأثیرات مستقیم متغیرها (مأخذ: محاسبات نگارندگان)

نتایج شکل ۲ نمودار پراکندگی متغیرها و جایگاه آن‌ها بر اساس تأثیرات مستقیم متغیرها با استفاده از نرم‌افزار میک‌مک حاکی از آن دارد که از میان ۴۹ عامل کلیدی شناسایی شده در تاب‌آوری شهر خلخال، ۱۳ عامل (کیفیت بنا، نوع سازه بنا، شبکه حمل و نقل، دسترسی به معابر اصلی، جایگاه سوخت، ایستگاه گاز، ایستگاه و انتقال برق، تأسیسات و منابع آب، مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل، رانش زمین) از تأثیرگذاری بیشتری در رابطه با تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه برخوردارند.

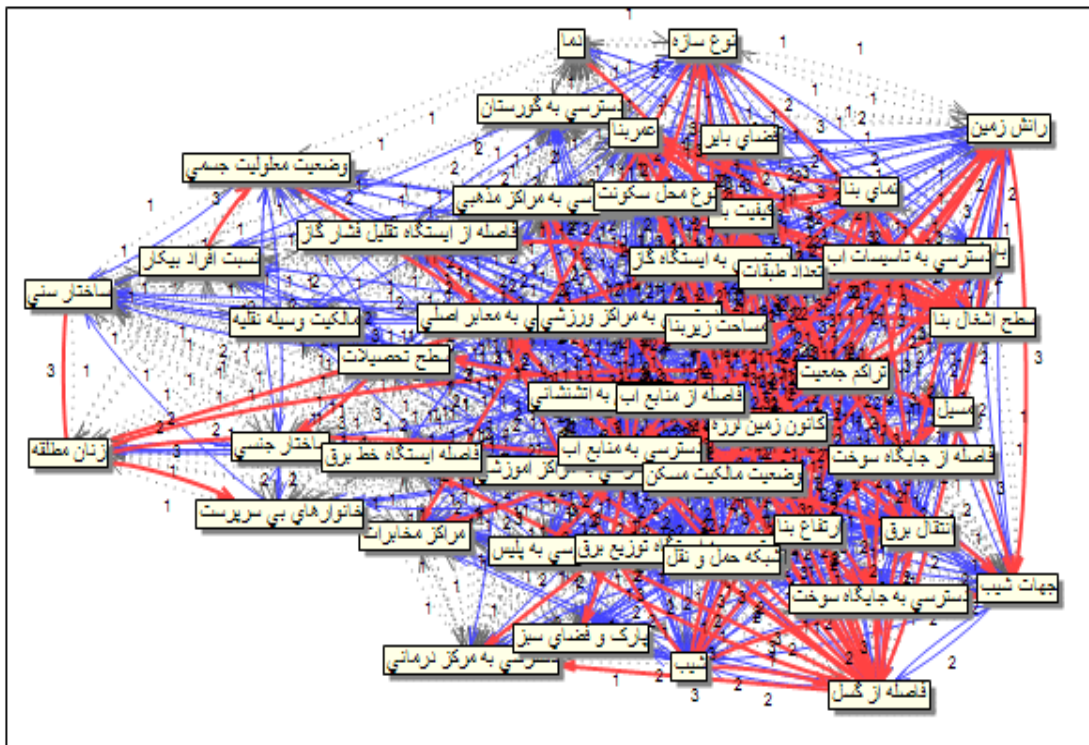
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نحوه توزیع و پراکندگی متغیرهای مؤثر بر توسعه شهر خلخال حاکی از ناپایداری سیستم است و با توجه به تقسیم‌بندی متغیرها و جایگاه آن‌ها می‌توان به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها پی برد. در دسته راهبردی و کلیدی‌ترین متغیرها می‌توان به مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل و رانش زمین اشاره کرد. در دسته دوم که در ناحیه شمال شرقی شکل قرار دارند، متغیرهایی هستند که هم تأثیرگذاری و هم تأثیرپذیری بالایی دارند، از جمله تأسیسات و منابع آب، ایستگاه و انتقال برق، مراکز ورزشی و تراکم جمعیت، وضعیت این متغیرها در توسعه شهر خلخال هم درگرو بسیاری از متغیرهای دیگر است و هم تأثیرگذاری زیادی بر متغیرهای دیگر دارند. دسته سوم متغیرهای تنظیمی هستند که در مرکز شکل قرار دارند و بسته به سیاست‌های دولت می‌تواند قابل ارتقا به متغیرهای تأثیرگذار یا متغیرهای دووجهی باشند؛ از جمله این متغیرها می‌توان به نوع سازه بنا، نوع محل سکونت و دسترسی به معابر اصلی اشاره کرد. در دسته متغیرهای تأثیرپذیر نیز که بیشترین تأثیرپذیری از متغیرهای دیگر را دارند متغیرهای مالکیت مسکن، کیفیت بنا، عمر بنا، مراکز مذهبی، جایگاه سوخت و ایستگاه گاز قرار دارد. دسته آخر نیز متغیرهای مستقل قرار دارد.

جدول ۴- نحوه توزیع متغیر بر اساس طبقه‌بندی آن‌ها

طبقه‌بندی	متغیر
عوامل تأثیرگذار	مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل و رانش زمین
عوامل دو وجهی	تأسیسات آب، منابع آب، ایستگاه برق، انتقال برق، مراکز ورزشی و تراکم جمعیت
عوامل تنظیمی	نوع سازه بنا، نوع محل سکونت و دسترسی به معابر اصلی
عوامل تأثیرپذیر	مالکیت مسکن، کیفیت بنا، عمر بنا، مراکز مذهبی، جایگاه سوخت و ایستگاه گاز
عوامل مستقل	ساختار سنی، ساختار جنسی، سطح تحصیلات، خانوارهای بی‌سرپرست، زنان مطلقه، نمای بنا، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سطح اشغال بنا، ارتفاع بنا، دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به آتش‌نشانی، دسترسی به پارک و فضای سبز، دسترسی به پلیس

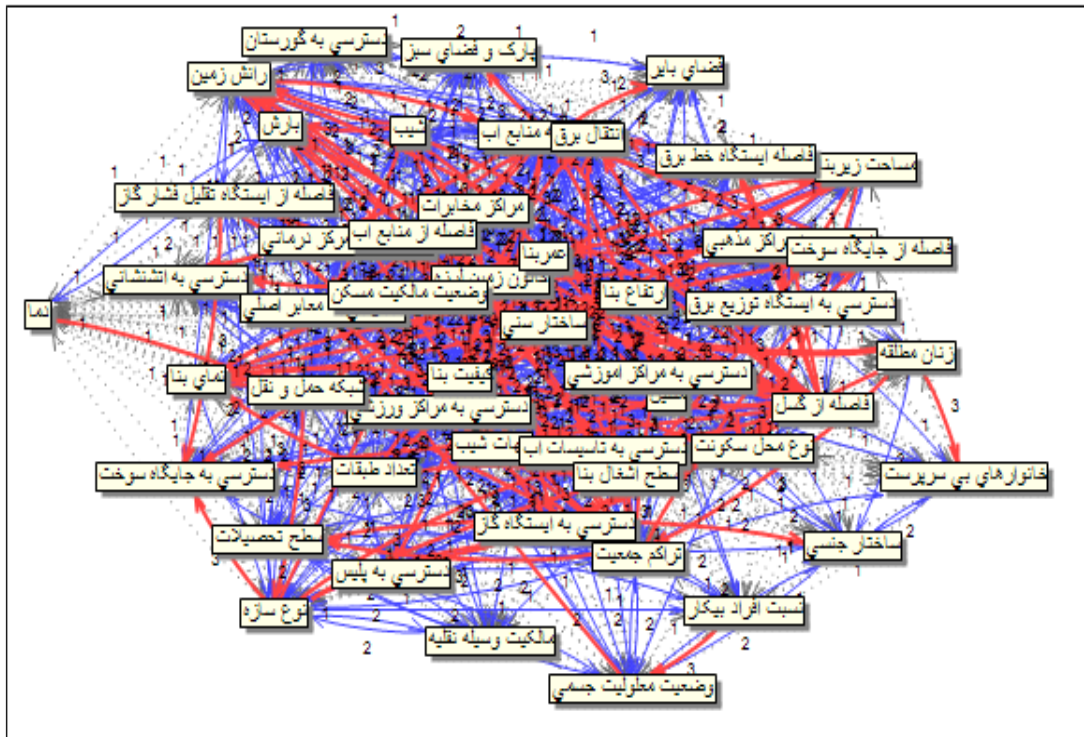
(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

Direct influence graph

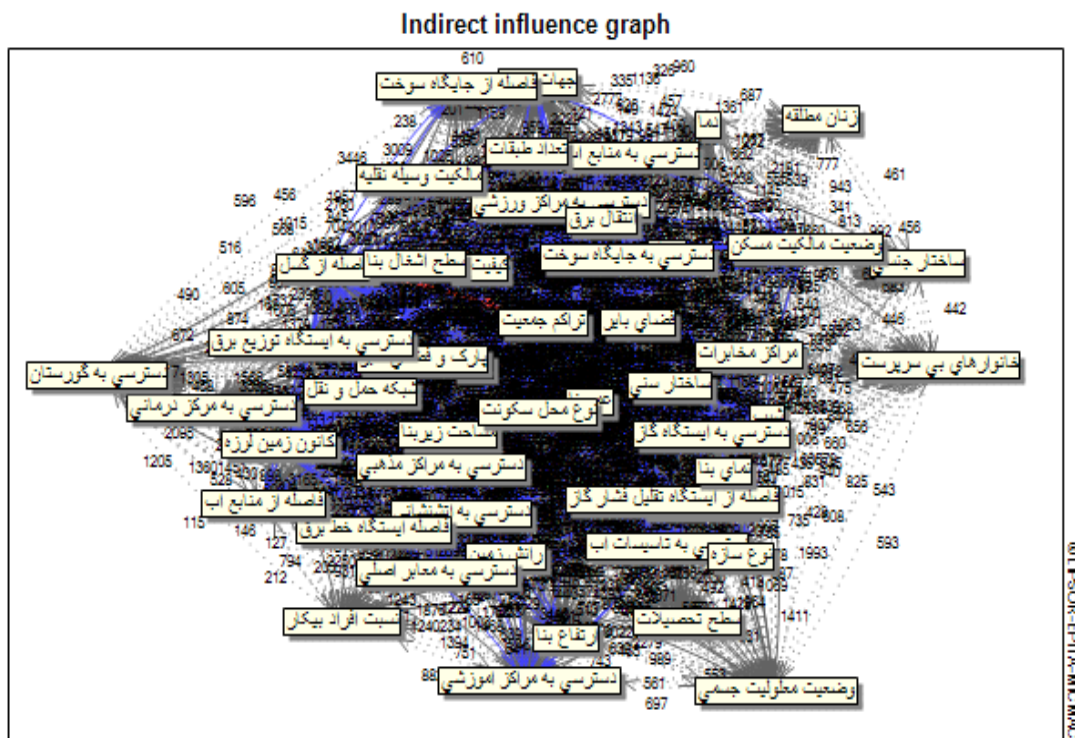


شکل ۳- نمودار روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی) (مأخذ: محاسبات نگارندگان)

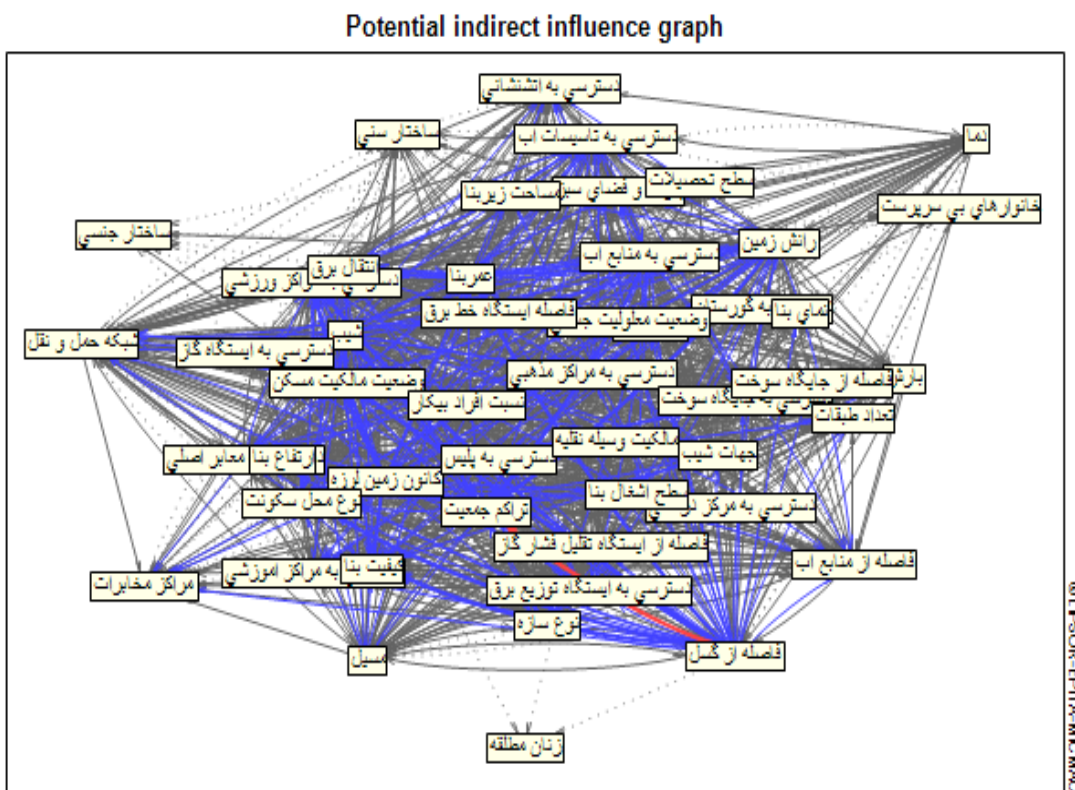
Potential direct influence graph



شکل ۴- نمودار روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی) (مأخذ: محاسبات نگارندگان)



شکل ۵- نمودار روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات نسبتاً قوی تا بسیار قوی) (مأخذ: محاسبات نگارندگان)



شکل ۶- نمودار روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار قوی) (مأخذ: محاسبات نگارندگان)

- انتخاب عوامل کلیدی مؤثر بر تاب‌آوری شهر خلخال

از میان ۴۹ عامل بررسی شده در این تحقیق ۱۳ متغیر تأثیرگذار مهم به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه انتخاب شده‌اند. بررسی تأثیرگذاری روابط مستقیم و غیرمستقیم متغیرها حاکی از آن دارد تمامی ۱۳ شاخص ذکرشده در تأثیرات مستقیم در تأثیرات غیرمستقیم نیز عیناً و یا با جابه‌جایی کم در رتبه تکرار شده‌اند بر این اساس در راستای پایداری مؤثر می‌تواند نقش حیاتی داشته باشد.

از میان عوامل کلیدی مؤثر در تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه ۵ متغیر مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل و رانش زمین دارای تأثیرپذیری بالا هستند. از این رو توجه جدی به این عوامل در برنامه‌ریزی‌های آتی با رویکرد آینده‌پژوهی در راستای تاب آور نمودن شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه ضروری است. در جدول شماره ۵ عوامل مؤثر در افزایش تاب‌آوری شهر خلخال با رویکرد آینده‌پژوهی به صورت طبقه‌بندی شده به ابعاد مختلف تاب‌آوری آورده شده است.

جدول ۵- تقسیم‌بندی عوامل کلیدی مؤثر در افزایش تاب‌آوری شهر خلخال به ابعاد مختلف

ابعاد تاب‌آوری	عوامل کلیدی در تاب‌آوری منطقه با رویکرد آینده‌پژوهی
طبیعی	جلوگیری از گسترش شهر در طول مسیل
	افزایش شیب و جهات آن
	ممنوعیت گسترش مراکز جمعیتی بر روی کانون زلزله
	جلوگیری از استقرار سکونتگاه‌ها بر روی گسل
	کاهش رانش زمین با بهره‌برداری اصولی از زمین
کالبدی	ایجاد بناهای نوساز و مقاوم
	اسکلت فلزی و بتونی
	برنامه‌ریزی در جهت توسعه شبکه حمل و نقل
زیرساختی	ایجاد معابر استاندارد و دسترسی بهتر
	ایمنی سازی و مکان‌یابی مناسب جایگاه سوخت
	بهبود وضعیت و تجهیز ایستگاه گاز
	افزایش بهبود ایستگاه و انتقال برق
	بهبود وضعیت و توسعه تأسیسات و منابع آب

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

نکته جالب این است که از بین ۳ عامل کلیدی خیلی مؤثر در تاب‌آوری شهر خلخال که از میان ۱۳ عامل کلیدی تأثیرگذار در تاب‌آوری انتخاب شده بودند به طور کلی ۵ مورد مهم آن یعنی جلوگیری از گسترش شهر در طول مسیل، افزایش شیب و جهات آن، ممنوعیت گسترش مراکز جمعیتی بر روی کانون زلزله، جلوگیری از استقرار سکونتگاه‌ها بر روی گسل، کاهش رانش زمین با بهره‌برداری اصولی از زمین به‌صورت مستقیم با تاب‌آوری در ارتباط است در واقع این ۵ عامل یادشده در تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه نسبت به ۱۳ عامل کلیدی دیگر نقش مهمی دارند.

نتیجه‌گیری

مخاطرات طبیعی از جمله زلزله به دلیل شدت زیاد و زمان تأثیرگذاری کوتاه در کنار آثار مخربی که بر اجتماعات شهری دارد به یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران شهری تبدیل شده است. اغلب شهرها دارای تراکم بالای جمعیت بوده و همه پدیده‌هایی که بوسیله انسانها در شهرها ساخته شده، در صورت نداشتن آمادگی برابر مخاطرات طبیعی، در صورتیکه بلاپای طبیعی اتفاق بیفتد می‌تواند دچار آشفستگی و خسارات بسیار زیادی گردد. هدف تحقیق حاضر شناسایی و

تحلیل عوامل موثر بر تاب‌آوری در برابر زمین لرزه در شهرستان خلخال می‌باشد. این مقاله عوامل و نیروهای پیشران مؤثر بر وضعیت آینده تاب‌آوری شهر خلخال را در برابر زمین‌لرزه، شناسایی و خوشه‌بندی کرده است. شهر خلخال به لحاظ مکان‌یابی در جنوب استان اردبیل در منطقه مرتفع کوهستانی با زمستان بسیار سرد قرار گرفته است و به لحاظ راه ارتباطی اصلی نیز تنها یک راه اصلی و ارتباطی با مرکز استان یعنی شهر اردبیل دارد. مسائل ذکر شده لزوم مطالعه و برنامه‌ریزی در جهت بالا بردن تاب‌آوری را خاطر نشان می‌سازد. با این حال افزایش تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه تحت تأثیر عوامل بسیاری است، بر این اساس توجه به رویکرد آینده‌پژوهی ضرورت می‌یابد. همچنین ناتوان ماندن روش‌هایی چون مدیریت بحران در کاهش آسیب‌های جانی و مالی ناشی از مخاطرات محیطی، لزوم توجه به رویکرد آینده‌پژوهی را مطرح کرده است تا با پیش‌بینی آینده و ارائه راهکارهایی بتوان افزایش تاب‌آوری را فراهم ساخت. در این تحقیق از میان ۴۹ پیشران اولیه تاب‌آوری شهر خلخال ۱۳ پیشران کلیدی با میزان تأثیرگذاری بالا از جمله (کیفیت بنا، نوع سازه بنا، شبکه حمل و نقل، دسترسی به معابر اصلی، جایگاه سوخت، ایستگاه گاز، ایستگاه و انتقال برق، تأسیسات و منابع آب، مسیل، میزان شیب و جهات آن، کانون زلزله، فاصله از گسل، رانش زمین)، به‌عنوان پیشران‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه شناسایی گردید. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که از ۱۳ عامل کلیدی، ۴ مورد از میان شاخص‌های کالبدی، ۴ مورد از میان شاخص‌های زیرساختی و ۵ مورد از میان شاخص‌های طبیعی است. عواملی مانند کیفیت بنا و نوع سازه به علت بافت فرسوده‌ای که در مرکز شهر خلخال از سال‌های قبل وجود دارد قابل توجه است. در کنار این مساله وجود راه‌های ارتباطی باریک بین محله‌های شهر و خیابان‌های کم عرض داخل شهر، لزوم توجه به این مساله را در زمان زمین لرزه حائز اهمیت می‌کند. با توجه به اینکه در جنوب استان اردبیل شهر خلخال بزرگترین شهر این منطقه می‌باشد و مرکز فعالیت اقتصادی روستائیان این ناحیه است، دسترسی به معابر اصلی و شبکه حمل و نقل جزو مسائل اصلی در زمان بحران خواهد بود. با بررسی نتایج بدست آمده و انطباق آن با موقعیت جغرافیایی شهر خلخال مشخص گردید که مکان‌یابی ایستگاه‌های گاز و برق در کنار جایگاه‌های سوخت و از جمله انبارهای نفت شهرستان که بر روی شیب و در مقابل بیمارستان اصلی این شهر قرار گرفته است، لزوم دقت و افزایش تاب‌آوری را در این شهر کاملاً قابل توجیه است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق، لزوم آینده‌نگری در تاب‌آوری شهر خلخال مساله مهم این شهر می‌باشد، زیرا عوامل طبیعی موجود در این شهر مانند شیب، گسل در کنار مسیل، بافت‌های فرسوده و عوامل زیرساختی، بافت شهری خطرناکی را بوجود آورده‌اند که احتیاج به نگاه ویژه‌ای دارد تا اثرات مخاطرات طبیعی به کمترین حد خود برسد. بالا بردن دقت در اجرای استانداردها در احداث ساختمان در کنار توجه به مخاطرات طبیعی نگاه ویژه‌ای را می‌طلبد تا در آینده، مکان‌یابی‌هایی امن در جهت استقرار زیرساخت‌های شهری در شهر خلخال اتفاق افتد. از این رو در تاب‌آوری شهر خلخال با رویکرد آینده‌پژوهی به ترتیب عوامل کلیدی، طبیعی، زیرساختی و کالبدی نقش اثرگذاری دارند؛ همچنین نتایج مقاله نشان می‌دهد الگوی کلی پراکندگی پیشران‌های مورد مطالعه از نظر تحلیل اثرات متقابل، در مجموع بیانگر وضعیت یک سیستم محیطی ناپایدار است که در آن پیشران‌های تاب‌آوری از نظر اثرگذاری و اثر پذیری حالت پیچیده و بینابین دارد.

پیشنهادها

با توجه به پیشران‌های کلیدی حاصل از پژوهش حاضر لازم است برنامه‌های سازمان‌های مرتبط با مدیریت شهری در راستای افزایش تاب‌آوری شهر خلخال در برابر زمین‌لرزه هدفمند شود که با اتخاذ سیاست‌های کارآمد و مؤثر زیر می‌توان به این مهم دست‌یافت:

- افزایش نقش مدیران شهری در ارتقای سطح تاب‌آوری شهر و منطقه مورد مطالعه از طریق افزایش سطح آموزش‌های کاربردی برای آن‌ها و بیان ضرورت توجه به سوانح طبیعی همچون زمین‌لرزه در شهر خلخال.

- توجه بیشتر مدیران مسئول و نهادهای مربوطه به سکونتگاه‌های شهری و مخاطراتی که این جوامع را تهدید می‌کند و انجام اقدامات و برنامه‌ریزی‌های جامع و گسترده.
- استفاده از ابزارهای اطلاعاتی مانند GIS در مکان‌یابی پهنه‌های خطر و جلوگیری در عدم استقرار سکونتگاه‌ها در آن پهنه‌ها.
- جانمایی اصولی کاربری‌ها، به خصوص کاربری‌های خطرآفرین و توجه مناسب به سازگاری کاربری‌ها.
- نظارت بر ساخت و ساز واحدهای مسکونی از نظر آسیب‌پذیری در مقابل زمین‌لرزه.

منابع

ابدالی، یعقوب؛ حاتمی نژاد، حسین؛ زنگنه شهرکی، سعید؛ پوراحمد، سلمانی، محمد. (۱۴۰۱). *تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با رویکرد آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهر خرم‌آباد)*. فصلنامه آینده‌پژوهی ایران، ۱۷(۱)، ۱-۲۶.

<https://doi.org/10.30479/jfs.2022.16142.1327>

اسکندری نوده، محمد؛ قلی‌پور، یاسر؛ فلاح حیدری، فاطمه؛ احمدپور، ایوب. (۱۳۹۸). *شناسایی ابعاد تاب‌آوری و تأثیر آن بر پایداری شهری (مطالعه موردی: شهر رشت)*. جغرافیا و پایداری محیط (پژوهش‌نامه جغرافیایی)، ۹(۳۲)، ۶۳-۷۷.

<https://sid.ir/paper/362751/fa>

امان‌پور، سعید؛ ملکی، سعید؛ صفایی‌پور، مسعود؛ امیری فهلیانی، محمدرضا. (۱۳۹۷). *تحلیل وضعیت و تعیین استراتژی‌های مبتنی بر سناریو در تاب‌آوری کلان‌شهرهای ایران (موردپژوهی: کلان‌شهر اهواز)*. پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۹(۳۵)، ۳۱-۴۶.

<https://sid.ir/paper/220290/fa>

امان‌پور، سعید؛ ملکی، سعید؛ صفایی‌پور، مسعود؛ امیری فهلیانی، محمدرضا. (۱۳۹۸). *تدوین سناریو و ارائه راهبردهای مؤثر در تاب‌آوری اجتماعی آینده (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز)*. جغرافیای اجتماعی شهری، ۶(۲)، ۲۲۵-۲۷۳.

<https://www.doi.org/10.22103/JUSG.2019.2000>

باقری، بهنام؛ معصومی، محمدتقی؛ نظم‌فر، حسین. (۱۴۰۲). *شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه منطقه‌ای با رویکرد آینده‌نگاری مطالعه موردی: استان اردبیل*. جغرافیا و توسعه، ۲۱(۷۲)، ۱۴۲-۱۶۵.

[10.22111/gdij.2023.43141.3428](https://doi.org/10.22111/gdij.2023.43141.3428)

فرزاد بهتاش، محمدرضا؛ کی‌نژاد، محمدعلی؛ پیربابایی، محمدتقی؛ عسگری، علی. (۱۳۹۲). *ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری کلان‌شهر تبریز*. معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا)، ۱۸(۳)، ۳۳-۴۲.

SID. <https://sid.ir/paper/154333/fa>

پوراحمد، احمد؛ زیاری، کرامت‌الله؛ صادقی، علیرضا. (۱۴۰۱). *تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب با رویکرد آینده‌پژوهی مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران*. فصلنامه چشم‌انداز شهرهای آینده، دوره سوم، ۴(۱۲)، ۸۷-۶۵.

<https://civilica.com/doc/1645932>

جعفری، فهیمه؛ شایان، حمید؛ باتقوی، هما. (۱۳۹۹). *شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی مؤثر در ارتقاء تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: سکونتگاه‌های روستایی شهرستان فریمان)*. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۱)، ۸۵-۱۱۵.

<https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.16846>

حاتمی نژاد، حسین؛ فرهادی خواه، حسین؛ آروین، محمود؛ رحیم پور، نگار. (۱۳۹۶)، *بررسی ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری تفسیری (مطالعه موردی: شهر اهواز)*. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۷(۱)، ۳۵-۴۵.

<http://dpmk.ir/article-۱۱۲-۱-fa.html>

حاتمی، یاس؛ ذاکر حقیقی، کیانوش. (۱۳۹۹). *ارزیابی مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری در مفهوم و رویکرد گذار (مطالعه موردی: منطقه یک شهر همدان)*. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۸(۵۸)، ۱۵۵-۱۷۴.

<https://doi.org/۱۰.۲۲۱۱۱/gdij.۲۰۲۰.۵۱۹۰>

ربانی، طاها. (۱۳۹۱). کاربرد رویکرد آینده‌پژوهی و تفکر راهبردی در برنامه‌ریزی توسعه شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران.

رهنما، محمدرحیم؛ شاکرمی، کیان؛ عباسی، حامد. (۱۳۹۷). *تسنا سایی و تحلیل پیشران‌های مؤثر بر توسعه منطقه‌ای استان البرز با رویکرد برنامه‌ریزی سناریو مینا*. مجله آمایش سرزمین، ۱۰(۱)، ۱۳۹-۱۶۶.

<https://doi.org/۱۰.۲۲۰۵۹/jtcp.۲۰۱۸.۲۵۴۲۶۲۶۶۹۸۵۴>

رهنمایی، محمدتقی. (۱۳۸۸). توسعه گردشگری فرصتی برای مدیریت شهری، نشریه شهرداری‌ها، شماره ۴۳. زالی، نادر (۱۳۹۳)، آینده نگاره توسعه منطقه‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی سناریو مینا (نمونه موردی: استان آذربایجان شرقی)، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.

زالی، نادر؛ منصوری بیرجندی، سارا. (۱۳۹۴). *تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل پایدار در افق ۱۴۰۴ کلان‌شهر تهران (روش تحلیل ساختاری)*. فصلنامه برنامه‌ریزی آمایش فضا، دوره ۱۹(۲)، ۱-۳۱.

<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-۸۱۶۱-۲۱-fa.html>

ساسان پور، فرزانه؛ موسوی‌وند، جعفر. (۱۳۹۸). *تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی*. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۰(۱۰)، ۲۹-۵۰.

<http://jgs.khu.ac.ir/article-۶۵۸-۱-fa.html>

علی‌اکبری، اسماعیل؛ پوراحمد، احمد؛ جلال‌آبادی، لیلا. (۱۳۹۷). *تسناسایی پیشران‌های مؤثر بر وضعیت آینده گردشگری پایدار شهر کرمان با رویکرد آینده‌پژوهی*. گردشگری و توسعه، ۱۷(۱)، ۱۵۶-۱۷۸.

<https://sid.ir/paper/۲۲۷۷۱۳/fa>

علیزاده، مهدی. (۱۳۹۵). *ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری کوه دشت با رویکرد پدافند غیرعامل*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

<https://doi.org/۱۰.۲۲۰۵۹/jtcp.۲۰۱۶.۵۹۱۴۵>

غیاثوند، ابوالفضل؛ رمضانیان، الهه. (۱۳۹۴). *ارزیابی میزان تاب‌آوری اقتصادی ایران طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۷۵*. مطالعات راهبردی بسیج، ۱۸(۶۸)، ۹۱-۱۰۹.

<https://sid.ir/paper/۵۱۳۲۴۱/fa>

کریمیان بستانی، مریم؛ پودینه، سجاد؛ صادق بختیاری، مرتضی؛ سرابندی، زهرا. (۱۴۰۰). *سنجش میزان تاب‌آوری اجتماعی در بافت فرسوده شهرها با رویکرد آینده‌پژوهی مطالعه موردی: شهر زابل*. فصلنامه آینده‌پژوهی شهری، ۱(۲)، ۱-۱۹.

<https://doi.org/۱۰.۳۰۴۹۵/uf.۲۰۲۲.۱۹۴۵۷۱۴.۱۰۱۰>

لطیفی، امین؛ زیاری، کرامت الله؛ نادری، سید مجید. (۱۴۰۰). *تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (نمونه موردی: منطقه ۱۰ شهر تهران)*. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰ (۱)، ۱۶۱-۱۸۲.

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69072.10.26>

مبارکی، امید؛ لاله پور، منیژه؛ افضل‌ی گروه، زهرا. (۱۳۹۶). *ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری شهر کرمان، جغرافیا و توسعه*، ۱۵ (۴۷)، ۸۹-۱۰۴.

<https://civilica.com/doc/886400>

محمدپور، مرتضی؛ ابراهیم‌زاده، عیسی؛ رفیعیان، مجتبی؛ چوشی، رامین. (۱۳۹۵). *شناسایی و تحلیل اثرات متقابل عوامل کلیدی و سنجش میزان پایداری منطقه‌ای با رویکرد آینده‌نگاری راهبردی مطالعه موردی استان خراسان شمالی، جغرافیا و پایداری محیط*، ۶ (۳)، ۲۰، ۱۷-۱.

<https://civilica.com/doc/1410472>

موسوی، میرنجم؛ قادری، رضا؛ تقی‌لو، علی‌اکبر؛ کهکی، فاطمه سادات. (۱۳۹۷). *تدوین سناریوهای تحقیق‌پذیری آمایش سرزمین (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)*. مجله آمایش سرزمین، ۱۰ (۱)، ۹۱-۶۵.

<https://civilica.com/doc/1807636>

نظم‌فر، حسین؛ پاشازاده، اصغر. (۱۳۹۷). *ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)*. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸ (۲۷)، ۱۰۱-۱۱۶.

<https://civilica.com/doc/886092/>

نوروزی، حسن؛ محمدی دوست، سلیمان؛ حسینی خواه، حسین؛ خانی زاده، محمدعلی. (۱۳۹۸). *شناسایی و ارزیابی پیشران‌های شگفت‌انگیز در تاب‌آوری کالبدی کاربری‌های شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (موردپژوهی: ناحیه یک شهر یاسوج)*. پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۰ (۳۶)، ۳۳-۴۵.

<https://sid.ir/paper/220246/fa>

نیک‌پور، عامر؛ یاراحمدی، منصوره. (۱۴۰۰). *شناسایی و تبیین پیشران‌های مؤثر در تاب‌آوری کالبدی (مطالعه موردی: نورآباد ممسنی)*، نشریه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۱ (۲۱)، ۹۸-۸۵.

<https://www.doi.org/10.30473/psp.2021.49141,2188>

References

- Abenayake, Ch. Yoshiki, M, Marasinghe, A, Takashi, Y, & Masahiro, I. (2016). *Applicability of extra-local methods for assessing community resilience to disasters: a case of Sri Lanka*, Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 18 (2), 1650010
- Beheshti, M. B, Behboudi, D, Zali, N, & Ahmadzadeh Deljavan, F (2020). *Analysis and Identification of Key Factors and Drivers Affecting Integrated Water Resources Management based on Futures Studies Approach (Case Study of Tabriz County)*. Ecohydrology, 5(1), 59-76.
- Chen, Y., Zhu, M., Zhou, Q., & Qiao, Y. (2021). *Research on spatiotemporal differentiation and influence mechanism of urban resilience in China based on*

- MGWR model.** International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 1–27. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031056>.
- Fornier Dale, E. (1982). *An Approach to Earthquake Risk*, Management, Engineering Structures, 4 (3), 147-152.
- Kontokosta, C.E, & Malik, A. (2018). *The Resilience to Emergencies and Disasters Index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity*, Sustainable Cities and Society, 36, 272–285.
- Labaka, L, Marana, P, Gimenez, R. & Hernantes, J. (2019). *Defining the roadmap towards city resilience*. Technological Forecasting & Social Change, 146, 281–296.
- Moore, E. A, Russell, J. D, Babbitt, C. W, Tomaszewski, B, & Clark, S. S. (2020). *Spatial modeling of a second-use strategy for electric vehicle batteries to improve disaster resilience and circular economy*. Resources, Conservation and Recycling, 160, Article 104889. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104889>.
- Sarker, M.N.I., Khatun, M.N., & Alam, G.M. (2020). Islam, M.S. *Big Data Driven Smart City: Way to Smart City Governance*. In Proceedings of the 2020 International Conference on Computing and Information Technology (ICCIIT-1441), Tabuk, Saudi Arabia, 9–10 1–8.
- Zeng X, Yu Y, Yang S, Lv Y, Sarker MNI. (2022). *Urban Resilience for Urban Sustainability: Concepts, Dimensions, and Perspectives*. Sustainability. 14(5), 2481.