Shahid Beheshti University

Sustainable Development of Geographical Environment

Journal homepage: https://egsdejournal.sbu.ac.ir

Analyzing the resilience capacity of critical infrastructures in areas vulnerable to climate change: a study in Khuzestan province

Hassanzadeh[1], M., Heydarpanah[1*], M.B.,

1. Department of Urban Planning, Faculty of Technical and Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:
- Climate change
- Resilience
- Infrastructure
- Adaptation cycle
- Khuzestan

Original Article
Article history:
Received: 08/08/2023
Accepted: 05/09/2023

ABSTRACT

In the last decade, resilience has found a special place in the literature related to risk and hazard management. This issue is very important in the balanced, flexible and wise use of these infrastructures, especially in the areas that are exposed to climate change and the damages caused by it. In this regard, the present research has studied the resilience capacity of critical infrastructures in areas vulnerable to climate change, focusing on Khuzestan province, and for this purpose, the analytical framework of the resilience adaptation cycle model has been used. The data collection was done using the targeted Delphi method and from the perspective of 30 experts and experts, and the similarity model to the fuzzy ideal option was used to analyze the data. The findings of the research indicate that the critical infrastructure of the electricity network in Khuzestan province has the weakest conditions in all four stages of the four stages of the resilience adaptation cycle model and requires the creation of appropriate resilience capacities. This issue is more noticeable in the form of indicators of creativity in times of crisis, saved capital, positive changes and qualitative surplus. The final analysis of the resilience quality of critical infrastructures also shows the priority of the reorganization stage in improving the recovery capacity for the resilience of these infrastructures in Khuzestan province.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Citation:
Hassanzadeh, M. and Heydarpanah, M.B., (2024). Analyzing the resilience capacity of critical infrastructures in areas vulnerable to climate change: a study in Khuzestan province, *Sustainable Development of Geographical Environment*: Vol. 5, No. 9, (90-106).
DOI: 10.48308/SDGE.2023.232648.1141

* Corresponding author E-mail address: (St_mb_heidarpanah@azad.ac.ir)

Extended abstract

Background and purpose

The resilience approach has gained an important place in various sciences, including urban and regional studies, during the last two decades. This matter is very important in the balanced, flexible and wise arrangement of the basic infrastructures, especially in the areas that are exposed to climate change and the damages caused by it. The research literature shows that many analytical models and frameworks have been presented to measure the resilience of vital and infrastructure systems. One of the most important models for evaluating the quality and capacity of resilience in infrastructure systems is the resilience adaptation cycle model. Considering the importance of resilience of critical infrastructures in Khuzestan province, this research has explained the resilience capacity of critical infrastructures in this province using this model.

Methodology

For the collection of descriptive data, documentary and library studies were used, and for the analytical data part, a survey method was used in the form of a targeted Delphi method. In this regard, the opinions of 30 experts and specialists were used in two stages, in the field of resilience of critical infrastructures and urban and regional planning. The first stage is to explain and explain the subject, model stages, indicators related to each of them and confirmation by experts, and the second stage is to weigh and measure the quality of the province's vital infrastructures in 5 infrastructures of electricity, gas, water, telecommunications and transportation. The basis of the resilience adaptation cycle model and the constituent indicators of the stages of the model have been discussed. To analyze the opinions of experts and outputs, the model of similarity to the fuzzy ideal option has been used.

Findings and discussion

The analysis of the results related to the indicators of the collapse stage as the first stage in the resilience adaptation cycle model for the critical infrastructures of the province when hazards occur shows that the critical electricity infrastructure has the lowest weight in all indicators and subsequently weak. It is the highest quality from the point of view of resilience, and from the point of view of the mentioned indicators, it has the priority of improvement. The analysis of the resilience capacity of the province's vital infrastructures in the reorganization stage as the second stage of the resilience adaptation cycle model shows that the electricity infrastructure has the weakest and lowest rank in all the indicators of this stage. It shows the low resilience of this infrastructure in Khuzestan province. The productivity stage is the third stage in the resilience adaptation cycle model to measure the resilience capacity of critical infrastructures in the province, and the results of this stage indicate that the critical electricity infrastructure has the lowest rating and the weakest quality in terms of resilience, just like the previous stages. Is. The balance stage is the last stage and the most complete stage in the resilience adaptation cycle model, the status of its indicators for the critical infrastructures of Khuzestan province shows that the open power facilities have the lowest weights and the weakest quality from the perspective of resilience. It is in the equilibrium stage.

Conclusion

The results of this research show that among the vital infrastructures of the province, the electricity infrastructure had an unfavorable condition from the point of view of resilience in all four stages of the model. After this infrastructure, the water infrastructure had a worse condition and received the lowest weights. Also, the infrastructures of gas, telecommunications and transportation, respectively, obtained the third to fifth ranks of resilience in the form of the resilience adaptation cycle model in the province. The final analysis of the quality of critical infrastructures of the province from the point of view of the stages of the resilience adaptation cycle model showed that the reorganization stage has the weakest quality and subsequently has a higher priority for planning in order to improve the quality of infrastructural resilience in Khuzestan province. The results of this research can pave the way for policies based on the resilient design of the province's vital infrastructure against natural hazards caused by climate change.

Keywords: Climate change, Resilience, Infrastructure, Adaptation cycle, Khuzestan.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

توسعه پایدار محیط جغرافیایی

Journal homepage: https://egsdejournal.sbu.ac.ir

Shahid Beheshti University

تحلیل ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در مناطق آسیب‌پذیر از تغییرات اقلیمی: مطالعه‌ای در استان خوزستان

مهرنوش حسن زاده[1]، محمدباقر حیدرپناه[1*]

۱. گروه شهرسازی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

واژه‌های کلیدی:
- تغییرات آب و هوایی
- تاب‌آوری
- زیرساخت
- چرخه سازگاری
- خوزستان

مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

چکیده

در دهه اخیر تاب‌آوری جایگاه ویژه‌ای در ادبیات مربوط به مدیریت ریسک و مخاطرات پیدا کرده است. این مساله در آمایش متوازن، منعطف و خردمندانه این زیرساخت‌ها به خصوص در مناطقی که در معرض تغییرات اقلیمی و آسیب‌های ناشی آن هستند، اهمیت فراوان دارد. در این راستا، پژوهش حاضر به شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در مناطق آسیب‌پذیر از تغییرات آب و هوایی با تمرکز بر استان خوزستان پرداخته و برای این منظور، از چهارچوب تحلیلی مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری بهره برده شده است. گردآوری داده‌ها به روش دلفی هدفمند و از دیدگاه ۳۰ کارشناس و متخصص انجام گرفته و برای تحلیل داده‌ها از مدل شباهت به گزینه ایده‌ال فازی استفاده شده است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که زیرساخت حیاتی شبکه برق در استان خوزستان مطابق با مراحل چهارگانه مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری در هر چهار مرحله ضعیف ترین شرایط را دارا بوده و نیازمند ایجاد ظرفیت‌های متناسب تاب‌آوری است. این مساله در قالب شاخص‌های خلاقیت در زمان بحران، سرمایه ذخیره شده، تغییرات مثبت و افزونگی کیفی بیشتر قابل ملاحظه است. تحلیل نهایی کیفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی نیز نشان از اولویت مرحله سازماندهی مجدد در ارتقای ظرفیت بازیابی برای تاب‌آوری این زیرساخت‌ها در پهنه استان خوزستان است.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

استناد:

حسن زاده، م. و حیدرپناه، م.ب.، (۱۴۰۲). تحلیل ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در مناطق آسیب‌پذیر از تغییرات اقلیمی: مطالعه‌ای در استان خوزستان، توسعه پایدار محیط جغرافیایی: سال ۵، شماره ۹، (۱۰۶-۹۰).

DOI: 10.48308/SDGE.2023.232648.1141

* نویسنده مسئول:

E-mail: (St_mb_heidarpanah@azad.ac.ir)

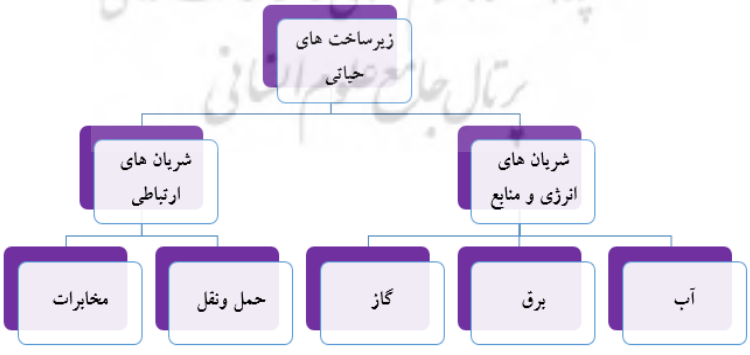
مقدمه

یکی از رسالت‌های آمایش سرزمین، توزیع و راهبری خردمندانه منابع و دارایی‌های زیرساختی و روساختی توسعه در پهنه‌های منطقه‌ای است (گودرزی و حاجیانی، ۱۴۰۲). این مهم در راستای توزیع متوازن جمعیت، تخصیص بهینه منابع، تعادل در توسعه منطقه‌ای و سهولت در تعیین شبکه‌های شهری آینده ارزیابی می‌شود که به عنوان پیشران‌های توسعه منطقه‌ای در مقیاس محلی و ملی در سطح کلان هستند (صنیعی، ۱۳۹۰؛ زیویار و فرجی ملایی،۱۳۹۱). از اساسی‌ترین زیرساخت‌های توسعه در هر پهنه‌ای از قلمرو سرزمینی که ارتباط مستقیمی با روند توسعه یافتگی ملی دارد، زیرساخت-های حیاتی آن سرزمین است (علیزاده، ۱۴۰۰). زیرساخت‌های حیاتی، زیرساخت‌هایی هستند که تداوم توسعه در سکونتگاه‌های انسانی و نیازها و کارکردهای محلی تا ملی بدون آن‌ها قابل تصور نیست. زیرساخت‌های انرژی (برق و گاز)، آب، حمل و نقل و شبکه مخابراتی از مهم‌ترین شریان‌های توسعه‌ای مطرح شده در ادبیات پژوهش، به «زیرساخت‌های حیاتی» معروف هستند (Pursiainen, 2018; Osei-Kyei et al, 2021). با وجود اهمیت زیرساخت‌های حیاتی، یکی از چالش‌های اساسی در آمایش، برنامه‌ریزی و نگهداشت، آسیب‌پذیری فوق‌العاده آن‌ها در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی است (Cantelmi et al, 2021). مطابق با گزارش‌های جهانی، سالانه هزینه‌ها و خسارات بزرگی در سراسر جهان از طریق اقدامات مخرب انسانی و از اینرو، تغییرات اقلیمی (سیل، زلزله، سونامی، ریزگردها، خشکسالی، لغزش زمین و ...) به زیرساخت‌های حیاتی وارد می‌شود که شرایط جبران ناپذیری را برای شهرها و مناطق به بار می‌آورد (Alizadeh and Moshfeghi, 2023). با توجه به آسیب‌پذیری این زیرساخت‌ها و اهمیت آن‌ها در آمایش شهری و منطقه‌ای، محققان روش‌های متعددی را برای حفاظت و پایش زیرساخت‌های حیاتی پیشنهاد داده‌اند. در این راستا، ایده‌ها و رویکردهایی چون حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی (انتیزه، ۱۳۹۷؛ تقی پور و همکاران، ۱۳۹۸) مدیریت ریسک زیرساخت‌های حیاتی (پشکروئین و همکاران، ۱۴۰۱) و اخیراً تاب‌آوری این زیرساخت‌ها (Alizadeh and Sharifi, 2020) در دو دهه اخیر مطرح شده‌اند. تاب‌آوری رویکردی است که در دو دهه اخیر، در علوم مختلف جایگاه مناسبی برای خود پیدا کرده است. این رویکرد در مطالعات شهری و منطقه‌ای نیز در دهه اخیر توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است (Wells et al, 2022). هر چند تعریفی فراگیر و جهانی برای تاب‌آوری وجود ندارد ولی آکادمی مطالعات ملی آمریکا تاب‌آوری را توانایی یک سیستم در برنامه‌ریزی و آمادگی در برابر مخاطرات، توانایی جذب آثار ناشی از خطر، توانایی بازیابی در کمترین زمان ممکن بعد از یک مخاطره و در نهایت توانایی سازگاری با شرایط جدید تعریف کرده است. مهم‌ترین مسأله در این زمینه داشتن رویکردی پایدار، انعطاف‌مند و آموزش نحوه مواجهه با مخاطرات و تهدیدات است. موردی که در دیدگاه‌های پیشین به حفاظت از سیستم در برابر مخاطرات خلاصه می‌شد (Ribeiro and Goncalves, 2021). این رویکرد به خصوص در آمایش زیرساخت‌های حیاتی در پهنه‌های شهری و منطقه‌ای اهمیت فراوانی دارد. چرا که تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی می‌تواند انعطاف‌پذیری، آمادگی، توانایی جذب و بازیابی و سازگاری با شرایط مختلف را در آنها افزایش داده و مانایی آنها در برابر شوک‌ها و تهدیدات بیرونی را تضمین کند و جمعیت را از خدمات آن‌ها در پهنه‌های شهری و منطقه‌ای به صورت مستمر بهره‌مند سازد (محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۸). استان خوزستان به عنوان یکی از مستعدترین نواحی برای مخاطرات اقلیمی در کشور که در چند سال اخیر به صورت سیل، پدیده ریزگردها و گرمای طاقت فرسای هوا بروز کرده است، به خصوص هزینه‌های زیادی را بابت هدر رفت، قطعی مکرر، خروج از جریان و تخریب و استهلاک شبکه‌های زیرساخت های حیاتی خود داده است؛ مساله‌ای که کیفیت زندگی را در شهرهای استان به خصوص در شهرهای مرکزی، جنوبی و غربی استان به شدت پایین آورده است و شرایط سختی را به خصوص هنگام قطعی جریان شبکه‌های انرژی به ساکنان تحمیل می‌کند. با وجود ویژگی ژئوپلیتیکی و غنی از منابع انرژی، آمایش پایدار استان با تهدیدهای جدی تغییرات اقلیمی و عدم توازن و تعادل در پخشایش منابع توسعه مواجه است. این دو به عنوان تهدیدهایی برای زیرساخت‌های حیاتی استان در به خصوص دهه گذشته مطرح بوده‌اند (محمدی ده جشمه و همکاران، ۱۳۹۸).

تغییرات اقلیمی در قالب بروز سیل، گرمای طاقت فرسای هوا و همچنین ریزگردها، آسیب‌های زیادی به زیرساخت‌های انرژی و آب استان وارد کرده و بسیاری از زیرساخت‌های توزیعی استان را فرسوده و تخریب کرده است. برای نمونه، رخداد سنگین پدیده ریزگردها بین سال‌های ۹۵ - ۱۳۹۶ در استان و به خصوص بخش‌های غربی و مرکزی استان باعث قطعی گسترده شبکه برق و پیرو آن، قطعی شبکه آب و گاز استان شد و خسارات اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی را به مردم در شهرهای استان تحمیل کرد (Alizadeh and Sharifi, 2020). علاوه بر تغییرات اقلیمی، فرسودگی زیرساخت-های حیاتی استان نیز چالش دیگری در توسعه متوازن و آمایش پایدار منطقه‌ای در استان به شمار می‌رود. استفاده از روش‌های سنتی توزیع، عدم استفاده از روش‌ها و ابزارهای نوین پایش اختلالات در ایستگاه‌های تولید و توزیع منابع زیرساختی و انرژی و فرسودگی ساختاری و فیزیکی زیرساخت‌ها به خصوص در حوزه برق و حمل ونقل شهری و منطقه‌ای از جمله چالش‌های استان در زمینه تاب‌آوری است. لذا اهمیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در این استان، برای رسیدن به آمایش پایدار منطقه‌ای و تاب‌آوری زیرساختی برای پایداری و ادامه کارکرد در زمان‌های بحرانی، حیاتی است (Alizadeh and Sharifi, 2020). در راستای مطالب بیان شده، این پژوهش، با سنجش تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی مناطق مستعد آسیب ناشی از تغییرات اقلیمی، به شناخت وضعیت شاخص‌های تاب‌آوری و تحلیل آن در استان خوزستان پرداخته است. سوالات پژوهش بدین صورت مطرح شده‌اند: بیشترین ضعف در تاب‌آوری مربوط به کدام زیرساخت حیاتی است و در راستای ارتقای ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌ها چه اقداماتی اولویت بیشتری دارند؟

مبانی نظری و پیشینه

زیرساخت‌های هر سیستمی چه در سطح کلان آن به عنوان یک کشور و چه در سطح منطقه‌ای و محلی نقشی کلیدی در ادامه جریان حیات و پویایی آن سیستم بر عهده دارند (Liu and Song, 2020). زیرساخت‌های یک سیستم را می‌توان شریان‌های حیاتی آن سیستم قلمداد کرد که از حساسیت بالایی برای آمایش خردمندانه و پشتیبانی برخوردار بوده و نیازمند برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های راهبردی برای تأمین ایمنی فضایی آن‌ها در پهنه‌های شهری – منطقه‌ای است (محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۸) در این راستا با توجه به مطالعات صورت گرفته، زیرساخت‌های حیاتی را می‌توان در دو دسته عمده زیرساخت‌های حیاتی مبتنی بر انرژی و زیرساخت‌های حیاتی مبتنی بر ارتباطات تقسیم‌بندی کرد (Collier and Venables, 2016).

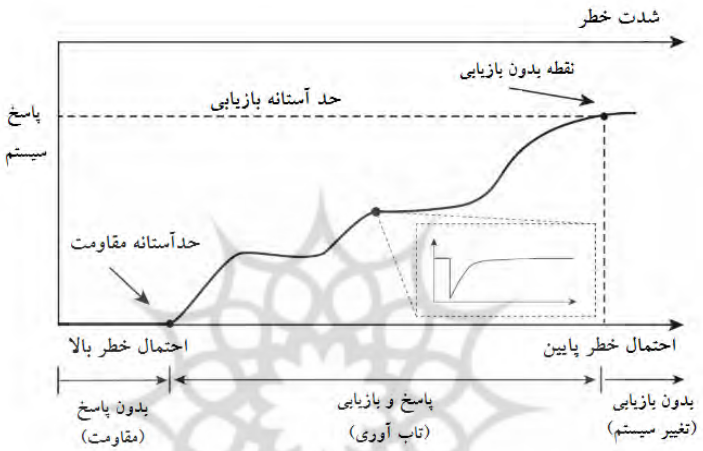


شکل ۱: زیرساخت‌های حیاتی در فضاهای شهری

(ماخذ: Collier and Venables, 2016)

جوامع مدرن امروزی به‌طور فزاینده‌ای وابسته به زیرساخت‌های حیاتی برای ارائه خدمات ضروری هستند که از رونق اقتصادی و کیفیت زندگی در این جوامع حمایت می‌کنند (Sharifi and Yamagata, 2016). این زیرساخت‌ها به عنوان

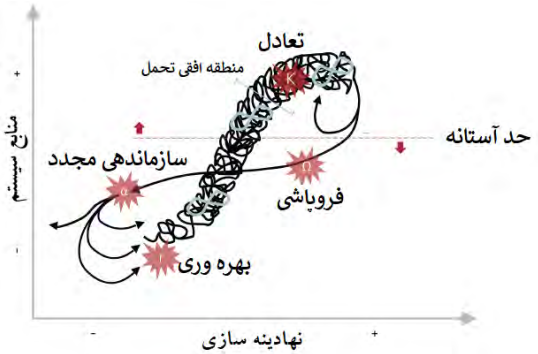
یک شبکه به هم پیوسته عمل می‌کنند و دارای طراحی‌های هوشمندانه‌ای هستند. از اینرو، در صورت اختلال در یکی از اجزا، سایر اجزا نیز دچار اختلال و ناکارآمدی شده و می‌تواند جریان حیات در شهرها را دچار بحران سازند (علیزاده، ۱۴۰۰). به هنگام بروز تهدیدات و مخاطرات، زمان بازگشت‌پذیری زیرساخت‌ها به شرایط قبل از بحران در صورت طولانی شدن می‌تواند شهرها را وارد چالشی اساسی بکند. بنابراین تاب‌آور نمودن زیرساخت‌های حیاتی و افزودن ثبات، توانمندی و بازیابی سریع بعد از اختلال در آنها می‌تواند گره‌گشای بسیاری از بحران‌ها و تهدیدات انسانی و طبیعی پیش‌روی جوامع باشد. با توجه به شبکه‌ای عمل کردن زیرساخت‌های حیاتی، تاب‌آورسازی این دارایی‌ها شامل شناخت زمان اختلال اولیه و کاهش زمان بازیابی و به خصوص پایش اثرات و حذف ناکارآمدی‌ها در ادامه حیات این زیرساخت‌ها بسیار مهم است. تمام این فرایند در قالب یک منحنی پاسخ عمل می‌کند که کیفیت پاسخ سیستم زیرساختی در هر مرحله کیفیت تاب‌آوری آن را نیز مشخص می‌سازد (شکل ۲).



شکل ۲: منحنی پاسخ زیرساخت‌های حیاتی به خطر

(ماخذ: Murdock et al, 2018)

ادبیات پژوهش نشان می‌دهد برای سنجش تاب‌آوری سیستم‌های حیاتی و زیرساختی مدل‌ها و چهارچوب‌های تحلیلی متعددی ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین مدل‌های ارزیابی کیفیت و ظرفیت تاب‌آوری در سیستم‌های زیرساختی مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری (RAC)[1] است. این مدل برای اولین بار در مطالعات تاب‌آوری نظام‌های اکولوژیکی و با بهره-گیری و بسط نظریه هولینگ [2] زیست شناس کانادایی - آمریکایی ارائه شد. در این مدل، در قالب چهار مرحله سازگاری و ظرفیت تاب‌آوری منابع و سیستم‌ها در برابر شوک‌ها و مخاطرات بیرونی تحلیل می‌شود (علیزاده، ۱۴۰۰) (شکل ۳).



شکل ۳: مراحل زمانی و کارکردی تاب‌آوری در مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری

(ماخذ: علیزاده و دامن باغ، ۱۴۰۱)

در مطالعات داخلی نیز علیزاده (۱۴۰۰) برای اولین بار از این مدل استفاده کرده است. همچنین او و همکارش (۱۴۰۱) در مطالعه دیگری این مدل را در قالب حمل و نقل شهری کلانشهر اهواز مورد مطالعه و تحلیل قرار داده و شاخص‌های مربوطه را تشریح کرده‌اند. مطابق با ساختار پیشنهادی این مدل، چهار نوع وضعیت و متعاقب آن چهار نوع ظرفیت را برای ایجاد تاب‌آوری در سیستم‌های زیرساختی مورد نیاز است. در حالت سلسله وار و مرحله‌ای، بدترین شرایط یا وضعیت در مرحله (Ω) است که به مرحله فروپاشی معروف است و در آن، منابع و دارایی‌هایی سیستم نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی[۳] هستند. بعد از این، مرحله (α) قرار دارد که به وضعیت سازماندهی مجدد اشاره دارد. مرحله (r) به مرحله بهره وری شهرت دارد و وضعیت نهایی (k) مرحله تعادل است. در این مرحله ساختار در نهایت اوج قرار دارد و به نوعی منابع سیستم، تعادل و پایداری عملکردی و ساختاری دارند (علیزاده و دامن باغ، ۱۴۰۱). زنگ و همکاران (۲۰۲۲) در "تاب‌آوری شهری برای پایداری شهری: مفاهیم، ابعاد و دیدگاه‌ها" با هدف روشن کردن مفهوم و توسعه نشانه‌های کلیدی تاب‌آوری و پایداری شهری در ادبیات موجود، به مطالعه پرداخته‌اند. این پژوهش استدلال می‌کند که پایداری و انعطاف‌پذیری پارادایم‌هایی هستند که بر ظرفیت یک سیستم برای حرکت به سمت مسیرهای توسعه مطلوب تأکید می‌کنند. تفاوت‌های قابل توجهی در تاکید و مقیاس زمانی آنها، به ویژه در زمینه شهرنشینی وجود دارد. این مطالعه شاخص‌های کلیدی تاب‌آوری شهری را تحت سه مؤلفه اصلی مانند ظرفیت سازگار (آموزش، سلامت، غذا و آب)، ظرفیت جذب (حمایت جامعه، فضای سبز شهری، زیرساخت‌های حفاظتی، دسترسی به حمل و نقل) و ظرفیت تحول‌آفرین (ارتباطات) شناسایی کرده است. این مطالعه همچنین چندین شاخص را در ابعاد اصلی (اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی) پایداری شهری شناسایی کرد. یافته‌ها در درک پویایی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهری و اندازه‌گیری و استراتژی مدیریت آن از شاخص‌های توسعه‌یافته مثمر ثمر خواهد بود (Zeng et al, 2021). وارگاس- هندانزر و زدونک- ویلگوداسا (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان "زیرساخت‌های سبز شهری به عنوان ابزاری برای کنترل تاب‌آوری پراکندگی شهری" با هدف تحلیل روابط موجود و عملکردهای کنترلی بین زیرساخت‌های سبز شهری بر تاب‌آوری پراکندگی شهری به مطالعه پرداختند. این مطالعه نشان می‌دهد در حالی که یافتن علیت خطی در یک رابطه مستقیم بین متغیرهای تحلیل دشوار است، به دلیل ارتباط جامع‌تری که منجر به کنترل پراکندگی شهری می‌شود، پشتیبانی می‌شود. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که برای ایجاد تاب‌آوری شهری مبتنی بر زیرساخت‌های سبز با پرداختن به طیف وسیع‌تری از اختلالات و مخاطرات اکوسیستم، برای تحقق نتایجی که مزایای محیط زیستی و اکولوژیکی را توسعه می‌دهد، به یک رویکرد جامع نیاز است. نتایجی که مزایای زیست محیطی و زیست محیطی پراکندگی شهری را توسعه می دهد (Vargas-Hernandez and Zdunek-Wielgolaska, 2021). علیزاده (۱۴۰۰) در تحلیل و شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهری براساس مدل چرخه سازگاری تاب آوری (RAC) به این نتایج دست یافت که براساس شاخص‌های تبیین‌کننده میزان تأثیرگذاری سرمایه‌ها، ساختار شبکه‌ای، پوشش کالبدی، اهمیت مصرفی و سرانه مصرف آنها، زیرساخت حیاتی برق براساس ساختار مدل تاب‌آوری در مرحله فروپاشی و سازماندهی مجدد، زیرساخت حیاتی مخابرات در مرحله بهره‌وری و زیرساخت حیاتی حمل و نقل در مرحله تعادل قرار دارند. براساس یافته‌های پژوهش به نظر می‌رسد زیرساخت حیاتی برق نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی و بازیابی مجدد، زیرساخت حیاتی مخابراب نیازمند ایجاد ظرفیت رشد و زیرساخت حیاتی حمل و نقل نیازمند ایجاد ظرفیت توسعه در این کلان‌شهر هستند (علیزاده، ۱۴۰۰). ابدالی و همکاران (۱۴۰۰) در تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با رویکرد آینده - پژوهی (مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد) با روش توصیفی - تحلیلی به مطالعه شاخص‌های تاب‌آوری شهری در شهر خرم‌آباد پرداخته‌اند که یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که متغیرهای جمعیت مستقل، زیرساخت‌های در معرض خطر، پتانسیل دسترسی یا تخلیه، ثبات و پایداری جمعیت و رونق ساخت و ساز، بالاترین رتبه‌های تأثیرگذاری و متغیرهای نسبت تغییر پوشش زمین شهری، زیرساخت‌ها، دسترسی به حمل و نقل، ظرفیت ارتباطی و برابری امکانات آموزشی، بالاترین رتبه‌های تأثیرپذیری کلی را دارند (ابدالی و همکاران، ۱۴۰۰). اقدسی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان ارزیابی تاب‌آوری شبکه‌های حمل و نقل ریلی با

استفاده از روش Hazid[۴] (مورد مطالعه: مترو امام خمینی (ره) شهر تهران) به بررسی تاب‌آوری خطوط مترو تهران با استفاده از روش Hazid پرداخته شده است. روش Hazid، روشی سیستماتیک برای شناسایی خطرات ایمنی، تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های آن‌ها در مراحل مختلف می‌باشد. نتایج نشان داد بیشترین مخاطره مربوط به سیل، نشتی و آب‌گرفتگی است و پس از آن زلزله و ازدحام در رتبه‌های بعدی قرار دارد. در نهایت امتیاز نهایی مترو تهران در سطح ۳ قرار گرفت بدین معنی که بخشی از بدنه ساختار سازمانی به صورت خاص در موضوعات مربوط به سیستم‌های ایمنی فعالیت می‌کند، در دسترس نیست اما ضروری است که دستورالعمل‌های ایمنی جدیدتری تدوین گردد (اقدسی و همکاران، ۱۳۹۹). شیرگیر و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان تبیین الگوی مداخله در زیرساخت‌های سبز شهری با هدف ایجاد تاب‌آوری اکولوژیک شهری با تأکید بر تغییرات اقلیمی (نمونه موردی: محله یوسف‌آباد شهر تهران) به مطالعه کتابخانه‌ای در حوزه کلمات کلیدی و بستر نظری موجود پرداختند و الگویی کمی - کیفی از روش مورد کاوی و بازدید میدانی به حیطه آزمایش گذاشتند. با جمع‌آوری اطلاعات پایه و تحلیل آنها با نرمافزاری GIS و بررسی عکس هوایی منطقه یوسف‌آباد شهر تهران این الگو بر این منطقه منطبق شد و ویژگی‌های مؤثر زیرساخت‌های سبز در ارتقا و سنجش تاب‌آوری اکولوژیک شهری، تعیین و تدقیق شدند (شیرگیر و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به مطالعات و پیشینه موضوعی در داخل و خارج از کشور می‌توان اظهار کرد که موضوع تاب‌آوری زیرساخت‌ها از اهمیتی انکارناپذیر برخوردار است. اهمیت این موضوعی زمانی دوچندان خواهد شد که زیرساخت‌های حیاتی مورد مطالعه قرار گرفته باشند. پژوهش‌هایی در رابطه با تاب‌آوری انواع زیرساخت‌های گوناگون از جمله فضای‌سبز، حمل و نقل و ... صورت گرفته اما در رابطه با تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی مطالعه‌ای انجام نشده است. همچنین این موضوع در رابطه با استان خوزستان، تاکنون بررسی نشده است. از این رو این پژوهش سعی بر آن داشته است تا خلا پژوهشی در ارتباط با تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در استان خوزستان را پر کند، چرا که این استان با توجه به موقعیت ویژه خود به دلیل تغییرات آب و هوایی در معرض آسیب‌پذیری بیشتر زیرساخت‌های حیاتی قرار دارد.

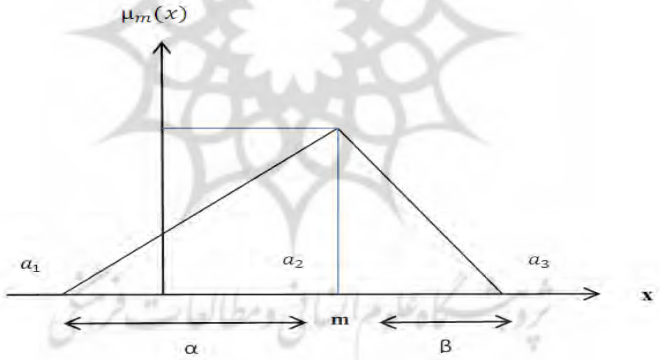
روش‌شناسی

پژوهش حاضر با هدف کاربردی توسعه‌ای و با روش توصیفی - تحلیلی به انجام رسیده است. برای گردآوری داده‌های پژوهش در بخش توصیفی از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای مرجع در زمینه موضوع و در بخش داده‌های تحلیلی از روش پیمایشی به صورت روش دلفی هدفمند استفاده شده است. در این راستا از نظرات ۲۵ کارشناس و متخصص در زمینه موضوع تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای (کارشناسان پژوهش از اساتید دانشگاه و مدیران ارشد و کارشناسان سازمان آب و برق و گاز منطقه‌ای استان و اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان بوده‌اند.) در دو مرحله استفاده شد. مرحله اول به تبیین، تشریح موضوع و مراحل مدل شاخص‌های مربوط به هر کدام (شکل ۴) و تایید آنها از سوی کارشناسان و مرحله دوم، وزن دهی و کیفیت سنجی وضعیت زیرساخت‌های حیاتی استان در ۵ زیرساخت برق، گاز، آب، مخابرات و حمل و نقل براساس مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری و شاخص‌های تشکیل دهنده مدل بوده است (برای گردآوری شاخص‌های مراحل از منابع زیر بهره برده شده است: علیزاده (۱۴۰۰)؛ علیزاده و دامن باغ (۱۴۰۱)؛ Fath et al, 2015؛ Salvia and Quaranta, 2015). برای تجزیه و تحلیل نظرات کارشناسان و داده‌های به دست آمده از مدل شباهت به گزینه ایده آل فازی[۵] استفاده شده است.

شکل ۴: مراحل و شاخص‌های تبیین کننده مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری (RAC)

مدل شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

مدل شباهت به گزینه ایده‌آل فازی یا تاپسیس فازی از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی است که اولین بار توسط چن و هوانگ[۶] برای تصمیم‌گیری درباره n معیار با m گزینه ارائه شد. این مدل از چند مرحله برای تجزیه و تحلیل داده‌ها تشکیل شده و مرحله اول در این مدل تشکیل ماتریس تصمیم است.

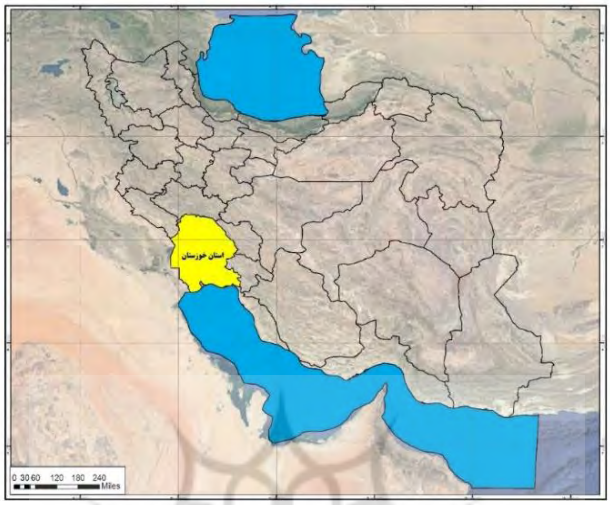


شکل ۵: تابع عضویت اعداد مثلثی در محیط فازی.
(ماخذ: عطایی، ۱۳۸۹)

مرحله دوم، تعیین ماتریس وزن معیارهاست.
مرحله سوم، بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم فازی است.
مرحله چهارم، در بین شاخص‌های مورد محاسبه، برخی شاخص‌ها با جنبه مثبت و بعضی دیگر با جنبه منفی مشخص می‌شود.
مرحله پنجم، محاسبه نزدیکی به ایده آل فازی[۷] و ضد ایده‌آل فازی[۸] است.
مرحله ششم، محاسبه فاصله از ایده آل مثبت و منفی و مرحله آخر در این مدل، محاسبه شاخص شباهت خواهد بود.

محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان در جنوب شرقی ایران و در مرز با کشور عراق و در کرانه‌های خلیج فارس قرار دارد (شکل ۶). استانی با موقعیت ژئوپلیتیکی، ژئواکونومیکی و ژئواستراتژیکی با نقشی حیاتی و راهبردی در توسعه منطقه‌ای و ملی است. براساس آخرین سرشماری مرکز آمار ایران، این استان دارای جمعیتی بالغ بر ۴ میلیون ۷۰۰ هزار نفر با منابع غنی طبیعی و انرژی در کشور است (سالنامه آماری استان خوزستان، ۱۳۹۵).



شکل ۶: موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

(ماخذ: مطالعه اسنادی پژوهش، ۱۴۰۲)

یافته‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش مدل فازی، ابتدا وزن‌های به دست آمده از دیدگاه کارشناسان به اعداد فازی مثلثی تبدیل شد، طبق ۵ مقیاس لیکرت اعداد فازی مثلثی انتخاب و داده‌های به دست آمده به اعداد فازی تبدیل و برای تحلیل وارد مدل شدند (جدول۱).

جدول ۱: متغیرهای کلامی و اعداد متناظر مثلثی فازی

متغیرهای کلامی (طیف لیکرت)	اعداد متناظر مثلثی فازی
خیلی ضعیف	۱ ، ۱ ، ۳
ضعیف	۱ ، ۳ ، ۵
متوسط	۳ ،۵ ، ۷
مناسب	۵ ، ۷ ، ۹
خیلی مناسب	۷ ، ۷ ، ۹

بعد از فازی‌سازی، مطابق ساختار مدل فازی، ابتدا ماتریس بی‌مقیاس فازی و سپس ماتریس بی مقیاس شده موزون فازی برای زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان در قالب ساختار چهار مرحله‌ای مدل (RAC) برنامه نویسی و تحلیل شد و سپس هر چهار مرحله مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری در زیرساخت‌های حیاتی پنج گانه استان خوزستان تشریح شد. با توجه به طولانی بودن جداول مربوط به ماتریس‌ها، در جدول ۲ یک نمونه ماتریس بی‌مقیاس شده موزون فازی برای شاخص‌های مرحله فروپاشی در ادامه تشریح شده است. در جداول مربوطه اعداد فازی با توجه به جدول ۲ و تبدیل و تحلیل صورت گرفته به صورت مثلثی و در قالب حداقل وزن فازی (Fuzzy min) کارشناسان و متخصصان، میانگین وزن

فازی (Fuzzy mean) کارشناسان و متخصصان و حداکثر وزن فازی (Fuzzy max) کارشناسان و متخصصان تشریح شده‌اند.

جدول ۲: ماتریس بی مقیاس شده موزون فازی برای شاخص‌های تحلیلی مرحله فروپاشی

	خلاقیت در رخداد بحران			حفظ عملکردهای حیاتی			رهبری منسجم در بحران			رخداد اختلالات آبشاری		
	F max	*F mean*	*F min*	*F max*	*F mean*	*F min*	*F max*	*F mean*	*F min*	*F max*	*F mean*	*F min*
برق	۰/۷	۰/۲۰۹۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۲۵۰	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۳۶۴	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۰۱	۰/۰۳۳۳
آب	۰/۷	۰/۲۱۰۸	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۱۹۸۰۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۷۹	۰/۰۳۳۳
گاز	۰/۷	۰/۲۴۱۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۱۹۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۰۹۴	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۶۵	۰/۰۳۳۳
مخابرات	۰/۷	۰/۳۱۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۳۲۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۶۵	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۱۲۲	۰/۰۳۳۳
حمل و نقل	۰/۷	۰/۳۰۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۲۳۶	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۱۸۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۷	۰/۲۲۰۸	۰/۰۳۳۳

(ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

بعد از محاسبه ماتریس بی‌مقیاس موزون فازی حاصل از نظرات کارشناسان در مورد کیفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان که برای هر چهار مرحله در قالب شاخص‌های آن‌ها تحلیل شد، برای شناخت کیفیت تاب‌آوری و ظرفیت آن در بین زیرساخت‌های حیاتی مطابق با مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری، تلاش شد شاخص فاصله از ایده آل مثبت (S^+) و شاخص ایده‌آل منفی (S^-) و همچنین شاخص شباهت فازی نهایی (CC_i) برای زیرساخت‌های حیاتی در چهار مرحله مدل تشریح شود.

جدول ۳: وزن نهایی فازی و وضعیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی براساس شاخص‌های مرحله فروپاشی

	رهبری منسجم در زمان بحران				رخداد اختلالات آبشاری			
رتبه	CC_i	S^-	S^+	رتبه	CC_i	S^-	S^+	
۱	۰/۴۹۷	۰/۲۲۱	۰/۲۲۴	۱	۰/۴۸۹	۰,۲۲۵	۰,۲۳۵	برق
۲	۰/۵۱۶	۰/۳۸۲	۰/۳۵۸	۲	۰/۵۲۷	۰,۴۱	۰,۳۶۸	آب
۳	۰/۵۱۸	۰/۳۸۹	۰/۳۶۲	۳	۰/۵۲۹	۰,۴۱۲	۰,۳۶۷	گاز
۴	۰/۵۳۶	۰/۴۲۵	۰/۳۶۸	۴	۰/۵۳۹	۰,۴۱۷	۰,۳۵۶	مخابرات
۵	۰/۵۴۹	۰/۴۵۱	۰/۳۷۱	۵	۰,۵۶۷	۰,۳۲۱	۰,۲۴۶	حمل و نقل
	ابتکار و خلاقیت در زمان بحران				**حفظ عملکردهای حیاتی**			
رتبه	CC_i	S^-	S^+	رتبه	CC_i	S^-	S^+	
۱	۰/۴۸۸	۰/۲۲	۰/۲۳۱	۱	۰/۴۹۸	۰/۲۲۵	۰/۲۲۷	برق
۲	۰/۵۱۹	۰/۳۹	۰/۳۶۱	۲	۰/۵۱۶	۰/۳۸۴	۰/۳۶	آب
۳	۰/۵۳	۰/۴۱۲	۰/۳۶۵	۳	۰/۵۱۵	۰/۳۹۱	۰/۳۶۸	گاز
۴	۰/۵۴۵	۰/۴۲	۰/۳۵۱	۴	۰/۵۳۱	۰/۴۲۳	۰/۳۷۳	مخابرات
۵	۰/۵۴۷	۰/۴۳۳	۰/۳۵۹	۵	۰/۵۴۴	۰/۴۴۹	۰/۳۷۷	حمل و نقل

(ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

تحلیل نتایج مربوط به شاخص‌های مرحله فروپاشی به عنوان اولین مرحله در مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری برای زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان به هنگام رخداد مخاطرات نشان می‌دهد که زیرساخت حیاتی برق در تمامی شاخص‌ها دارای کمترین وزن و متعاقباً ضعیف‌ترین کیفیت از منظر تاب‌آوری بوده و از منظر شاخص‌های یاد شده دارای اولویت بهبود بخشی است. کمترین وزن به دست آمده نیز مربوط به شاخص چهارم یعنی داشتن خلاقیت و ابتکار ساختاری و عملکردی در زمان شروع بحران (۰/۴۸۸ وزن نهایی فازی) است که نشان دهنده فقدان ارائه راهکارهای خلاقانه و جایگزین در زمان شروع بحران برای جلوگیری از فروپاشی ساختاری و عملکردی در زیرساخت‌ها و شبکه انتقال انرژی در پهنه منطقه‌ای و شهری است همچنین این زیرساخت در وهله دوم و در مرحله فروپاشی، از منظر شاخص

رخداد اختلالات آبشاری با کسب ۰/۴۸۹ امنیاز نهایی فازی در وضعیت نامناسبی قرار دارد. یکی از تهدیدات بزرگ در زمان فروپاشی و رخداد بحران برای زیرساخت، بروز اختلالات آبشاری است که پی در پی باعث از بین رفتن و از مدار خارج شدن فعالیت‌های شبکه زیرساختی و انرژی در پهنه‌های شهری و منطقه‌ای است و آسیب گسترده‌ای به شبکه تولید و توزیع زیرساختی وارد می‌کند. در این مرحله زیرساخت آب، گاز، مخابرات و حمل و نقل در رتبه‌های بعدی از منظر تاب‌آوری قرار دارند.

جدول ۴: وزن نهایی فازی و وضعیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی براساس شاخص‌های مرحله سازماندهی مجدد

	سرمایه ذخیره شده				خودسازماندهی			
رتبه	CC_i	S^-	S^+	رتبه	CC_i	S^-	S^+	
۱	۰/۵۰۲۲	۰/۲۳۱	۰/۲۲۹	۱	۰/۵۰۵۵	۰/۲۲۸	۰/۲۲۳	برق
۲	۰/۵۰۵۸	۰/۲۶۱	۰/۲۵۵	۲	۰/۵۱۵	۰/۲۴	۰/۲۲۶	آب
۳	۰/۵۱۰۵	۰/۲۹۲	۰/۲۸	۳	۰/۵۱۸۳	۰/۲۶۹	۰/۲۵	گاز
۴	۰/۵۲۵۹	۰/۳۴۵	۰/۳۱۱	۴	۰/۵۲۳۶	۰/۳۱۱	۰/۲۸۳	مخابرات
۵	۰/۵۶۸۸	۰/۴۵۱	۰/۳۴۲	۵	۰/۵۴۷۷	۰/۳۷۹	۰/۳۱۳	حمل و نقل
	افزونگی ساختاری				حافظه یادگیرنده			
رتبه	CC_i	S^-	S^+	رتبه	CC_i	S^-	S^+	
۱	۰/۵۰۸۵	۰/۲۴	۰/۲۳۲	۱	۰/۵۰۳۷	۰/۲۰۵	۰/۲۰۲	برق
۲	۰/۵۰۴۱	۰/۲۴۵	۰/۲۴۱	۲	۰/۵۱۲۲	۰/۲۳	۰/۲۱۹	آب
۳	۰/۵۳۲۴	۰/۴۱۲	۰/۳۶۲	۳	۰/۵۱۷۶	۰/۲۸	۰/۲۶۱	گاز
۴	۰/۵۴۱۹	۰/۴۲	۰/۳۵۵	۴	۰/۵۱۱۸	۰/۳۲۶	۰/۳۱۱	مخابرات
۵	۰/۵۴۶۸	۰/۴۳۲	۰/۳۵۸	۵	۰/۵۴۴۷	۰/۴۵۱	۰/۳۷۷	حمل و نقل

(ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

تحلیل ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان در مرحله سازماندهی مجدد به عنوان مرحله دوم مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری نشان می‌دهد که زیرساخت حیاتی برق در تمامی شاخص‌های این مرحله نیز دارای ضعیف‌ترین و پایین‌ترین رتبه بوده و نشان دهنده تاب‌آوری پایین این زیرساخت در استان خوزستان است. در رتبه دوم زیرساخت حیاتی آب قرار دارد که با فاصله کوتاهی از زیرساخت حیاتی برق دارای شرایط نامناسبی است. رتبه‌های بعدی به گاز، مخابرات و حمل و نقل می‌رسد و به ترتیب هر چه به سمت زیرساخت‌های فیزیکی و کالبدی در پهنه استان می‌رسیم شرایط نسبت به زیرساخت‌های برق و آب بهتر می‌شود. در این مرحله کمترین وزن‌ها به ترتیب در شاخص سرمایه ذخیره شده و همچنین حافظه یادگیرنده است و برای زیرساخت حیاتی برق (به ترتیب ۰/۵۰۲۲ و ۵۰۳۷ وزن نهایی فازی) به دست آمده است. در این مرحله، منظور از سرمایه ذخیره شده، دسترسی به منابع اضطراری در قالب سرمایه طبیعی، ساخته شده، انسانی، اقتصادی و اجتماعی در طول و پس از بحران است که در زیرساخت‌های حیاتی استان به ویژه برق و آب، شرایط بحرانی و نامناسب است. توزیع نامتعادل منابع، رویکردهای سنتی توسعه و همچنین قدیمی بودن ساختار و روند توسعه زیرساختی از مشکلات و چالش‌های اصلی تاب‌آوری در این بخش است. حافظه یادگیرنده (منابع انسانی) نیز برای تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان وضعیت نامناسبی دارد. این شاخص در مرحله سازماندهی مجدد و کمک به بازیابی زیرساخت‌های حیاتی زمانی است که منابع انسانی و رهبری ساختاری توانسته باشد به لحاظ بحران‌های پیشین و عیب‌های پیشین تجربیات لازم را کسب کرده و یادگیری بهتری از نحوه وقوع بحران و نحوه واکنش پس از آن داشته باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، این بخش نیز دچار نقصان و ضعف بوده و دارای رتبه پایین به دست آمده برای زیرساخت هاست.

جدول ۵: وزن نهایی فازی و وضعیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی براساس شاخص‌های مرحله بهره‌وری

	جریان شفاف اطلاعات				تغییرات مثبت			
رتبه	CC_i	S^-	S^+		رتبه	CC_i	S^-	S^+
۱	۰/۵۰۵۵	۰/۲۲۸	۰/۲۲۳	برق	۱	۰/۵۰۲۲	۰/۲۳۲	۰/۲۳
۲	۰/۵۱۱۴	۰/۲۶۹	۰/۲۵۷	آب	۲	۰/۵۱۲۹	۰/۲۳۸	۰/۲۲۶
۳	۰/۵۱۳۱	۰/۲۹۴	۰/۲۷۹	گاز	۳	۰/۵۱۷۲	۰/۲۷	۰/۲۵۲
۴	۰/۵۱۹۷	۰/۳۴۳	۰/۳۱۷	مخابرات	۴	۰/۵۳۸۳	۰/۳۳	۰/۲۸۳
۵	۰/۵۴۹۲	۰/۴۱۳	۰/۳۳۹	حمل و نقل	۵	۰/۵۳۴۶	۰/۳۷۹	۰/۳۳
	ظرفیت سازگار				**رهبری تاب‌آورانه**			
رتبه	CC_i	S^-	S^+		رتبه	CC_i	S^-	S^+
۱	۰/۵۰۳۲	۰/۲۳۳	۰/۲۳	برق	۱	۰/۵۰۷۲	۰/۲۱۲	۰/۲۰۶
۲	۰/۵۰۴۱	۰/۲۴۵	۰/۲۴۱	آب	۲	۰/۵۰۹	۰/۲۲۶	۰/۲۱۸
۳	۰/۵۳۸۶	۰/۳	۰/۲۵۷	گاز	۳	۰/۵۱۱۲	۰/۲۷۵	۰/۲۶۳
۴	۰/۵۳۷۹	۰/۳۴۸	۰/۲۹۹	مخابرات	۴	۰/۵۱۶۴	۰/۳۳	۰/۳۰۹
۵	۰/۵۴۸۹	۰/۴۱	۰/۳۳۷	حمل و نقل	۵	۰/۵۲۴۱	۰/۳۶۹	۰/۳۳۵

(ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

مرحله بهره‌وری سومین مرحله در مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری برای اندازه‌گیری ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در استان خوزستان است که نتایج این مرحله بیانگر آن است که زیرساخت حیاتی برق به مانند مراحل پیشین دارای کمترین رتبه کسب شده و ضعیف‌ترین کیفیت از لحاظ تاب‌آوری است. بعد از زیرساخت برق، زیرساخت حیاتی آب، گاز، مخابرات و حمل و نقل به ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار دارند. از منظر شاخص‌های این مرحله، کمترین وزن‌های به دست آمده که دارای اولویت بیشتری برای برنامه‌ریزی در راستای ارتقای شرایط تاب‌آورانه هستند برای زیرساخت برق در شاخص‌های تغییرات مثبت و ظرفیت سازگارانه (به ترتیب با ۰/۵۲۲ و ۰/۵۰۳۲ وزن نهایی فازی) است. منظور از تغییرات مقیت اعمال تغییرات راهبردی و تحول گرایانه در ابعاد ساختاری و عملکردی است که بتواند نواقص پیشین را پوشش داده و باعث چابکی و کارایی ساختاری و عملکردی شبکه در زیرساخت‌های حیاتی در مواقع بروز مخاطرات و مدیریت کارای شرایط بعد از آن باشد. در این راستا به نظر می‌رسد این وضعیت در بخش زیرساخت حیاتی برق در ضعیف‌ترین شرایط است. و نیازمند برنامه‌ریزی برای پذیرش و استقبال از ایده‌های تحول‌گرایانه ساختاری و عملکردی برای تاب‌آوری در برابر تهدیدات بیرونی و درونی ناشی از مخاطرات در سطح استان خوزستان است. شاخص ظرفیت سازگار نیز اشاره به توانایی سازگاری با شرایط بحرانی و درس گرفتن از آسیب‌های گذشته برای انجام اقدامات سازنده در راستای تاب‌آوری سیستم‌های زیرساختی حیاتی است. سازگاری، از آخرین مراحل در تعریف ساختاری تاب آوری است که نیازمند تکمیل و اثرگذاری شاخص‌ها و ویژگی‌های تاب‌آورانه در زیرساخت‌هاست، که با توجه به شرایط موجود نمی‌توان از این اثرگذاری ویژگی‌های تاب‌آوری در زیرساخت‌های حیاتی استان به خصوص زیرساخت حیاتی برق صحبت کرد. این مساله نیازمند بسترسازی کمی و کیفی شاخص‌های عمده دخیل در توسعه و تعمیق تاب‌آوری است.

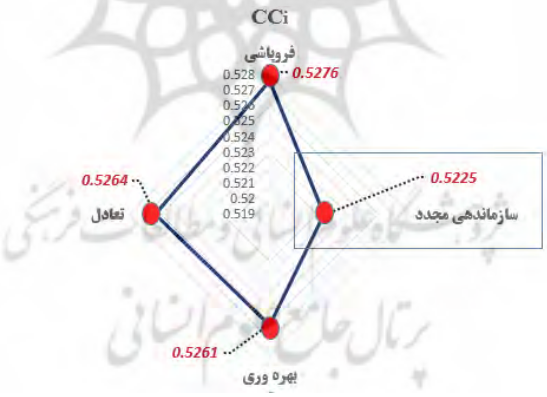
جدول ۶: وزن نهایی فازی و وضعیت تاب‌آوری زیرساخت های حیاتی براساس شاخص‌های مرحله تعادل

	حفظ تنوع				افزونگی کیفی			
رتبه	CC_i	S^-	S^+		رتبه	CC_i	S^-	S^+
۱	۰/۵۰۶	۰/۲۴۲	۰/۲۳۶	برق	۱	۰/۴۸۹	۰/۲۲۳	۰/۲۳۳
۲	۰/۵۲۱	۰/۲۶۶	۰/۲۴۵	آب	۲	۰/۵۰۹	۰/۳۷۹	۰/۳۶۵
۳	۰/۵۳۴	۰/۳۱۹	۰/۲۷۸	گاز	۳	۰/۵۲۹	۰/۴۱	۰/۳۶۵
۴	۰/۵۴	۰/۳۵	۰/۲۹۸	مخابرات	۴	۰/۵۳۷	۰/۴۰۸	۰/۳۵۲
۵	۰/۵۵	۰/۳۹	۰/۳۱۹	حمل و نقل	۵	۰/۵۳	۰/۴۳	۰/۳۷
	ظرفیت خلاق				**ساختار تاب‌آور**			
رتبه	CC_i	S^-	S^+		رتبه	CC_i	S^-	S^+

۱	۰/۵۰۳	۰/۲۳۵	۰/۲۳۲	۱	۰/۵۰۲	۰/۲۳	۰/۲۲۸	برق
۲	۰/۵۲۱	۰/۲۸	۰/۲۵۷	۲	۰/۵۱	۰/۲۴۴	۰/۲۳۴	آب
۳	۰/۵۳۲	۰/۳۲	۰/۲۸۱	۳	۰/۵۲۲	۰/۲۸۱	۰/۲۵۷	گاز
۴	۰/۵۴۳	۰/۳۶۶	۰/۳۰۸	۴	۰/۵۳۷	۰/۳۲۲	۰/۲۷۸	مخابرات
۵	۰/۵۵	۰/۳۹۷	۰/۳۲۵	۵	۰/۵۵	۰/۳۷۶	۰/۳۰۸	حمل و نقل

(ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

مرحله تعادل آخرین و کامل‌ترین مرحله در مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری است که وضعیت شاخص‌های آن برای زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان در جدول بالا تشریح و تحلیل شده است. مطابق با نتایج جدول بالا و مراحل پیشین، زیرساخت‌های حیاتی برق باز دارای کمترین وزن‌ها و ضعیف‌ترین کیفیت از منظر تاب‌آوری در مرحله تعادل است. زیرساخت آب، گاز، مخابرات و حمل و نقل در رتبه‌های دوم تا پنجم اولویت برای برنامه‌ریزی جهت ارتقای کیفیت تاب‌آوری در این مرحله قرار دارد. در بین شاخص‌های این مرحله، کمترین و متعاقباً با اولویت‌ترین شاخص‌ها مربوط به افزونگی کیفی و داشتن ساختار تاب‌آورانه (به ترتیب با ۰/۴۸۲ و ۰/۵۰۲) است که برای زیرساخت حیاتی برق کمترین وزن‌ها را داشته‌اند. در این بخش منظور از شاخص افزونگی کیفی، توسعه زیرساخت‌های حیاتی مبتنی بر ارتقای کیفیت و نوآوری و به روز بودن اجزای شبکه است. نکته بسیار مهمی که بر چابکی، سرعت و تدبیر شبکه افزوده و بر بازنگری و پایش شبکه اثر کاملاً مثبتی می‌گذارد. مساله‌ای که در زیرساخت‌های حیاتی استان به ویژه زیرساخت حیاتی برق دیده نمی‌شود. چرا که زیرساخت‌های استان دچار فرسودگی ساختاری و سنتی بودن فرایند برنامه‌ریزی و طراحی در شبکه هستند. منظور از ساختار تاب‌آورانه یعنی عدم اختلال و تداوم کیفی در عملکرد شبکه زیرساختی حیاتی در صورت بروز اختلال و شوک‌های بیرونی. ولی این شرایط در ضعیف‌ترین وضعیت به خصوص برای زیرساخت حیاتی برق در پهنه استان وجود دارد. در انتهای این بخش وزن نهایی هر چهار مرحله مدل سازگاری تاب‌آوری برای زیرساخت‌های استان خوزستان مورد تحلیل و تشریح قرار گرفت و نتیجه نهایی در شکل ۷ تشریح شده است.



شکل ۷: وزن نهایی فازی مراحل عملکردی در چرخه سازگاری تاب‌آوری برای زیرساخت های حیاتی استان خوزستان

وزن‌های نهایی فازی به دست آمده برای چهار مرحله عملکردی مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری نشان می‌دهد که مرحله سازماندهی مجدد با کسب کمترین وزن (۰/۵۲۲۵ وزن فازی)، در این مرحله دارای وضعیت نامناسب‌تری نسبت به سایر مراحل مدل و متعاقباً دارای اولویت بیشتری برای ارتقای ظرفیت تاب‌آوری در زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان را داراست. مرحله سازماندهی مجدد (α)، یکی از مراحل اساسی در تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی است و به کیفیت پاسخ دهی و واکنش زیرساخت‌ها به شوک‌های وارد شده اشاره دارد. در این مرحله که بعد از رخداد شوک در ساختار و عملکرد زیرساخت ها پدیدار می‌شود همان نیاز به ایجاد ظرفیت بازیابی در سیستم‌های زیرساختی است و کیفیت آن به مدت زمان واکنش و گذر از تخریب و اختلالات رخ داده در سیستم‌های زیرساختی حیاتی بستگی دارد. برای داشتن کمترین زمان برای بازیابی و برگشت به حالت اولیه و نمایش یک تاب‌آوری بالا، سیستم‌های زیرساختی در استان خوزستان

نیازمند توانایی خودسازماندهی ساختاری و عملکردی در زیرساخت‌های حیاتی، سرمایه ذخیره شده از هر دو نوع طبیعی و انسانی برای پوشش صحیح نواقص و ناکارامدی‌ها، حافظه یادگیرنده که از تجربیات مربوط به شکست‌ها و اختلالات گذشته برای بهبود عملکرد و بازگشت‌پذیری سریع استفاده می‌کند و همچنین افزونگی ساختاری که اشاره به داشتن ساختارها، گره‌ها و شبکه جایگزین با کارکرد با کیفیت برای جایگزینی با نقاط، گره‌ها و خطوط آسیب دیده در شبکه زیرساختی است.

بحث و نتیجه‌گیری

زیرساخت‌های حیاتی نقش اساسی در آمایش پهنه‌های شهری و منطقه‌ای دارند. آن‌ها به عنوان شریان‌های حیات و توسعه عمل می‌کنند و می‌تواند رونق و پویایی اقتصادی و اجتماعی را باعث شوند. از سوی دیگر تجربیات جهانی نشان می‌دهد که این زیرساخت ها به شدت در برابر تهدیدات بیرونی اعم از مخاطرات طبیعی با انسان ساخت آسیب‌پذیر بوده‌اند و هرگونه تهدیدی می‌تواند موجودیت شهرها و توسعه منطقه‌ای را با خطر مواجه سازد. در این راستا در دو دهه اخیر تمرکز برنامه‌ریزان و محققان بر روی ارائه راهکارهایی در راستای مدیریت ریسک زیرساخت‌های حیاتی (کلهر و همکاران، ۱۴۰۰؛ بیالاس، ۲۰۱۶)، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی (آلکاراز و زادلای، ۲۰۱۵؛ آنتیزه، ۱۳۹۷) و در نهایت اخیراً به تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی (علیزاده، ۱۴۰۰؛ علیزاده و دامن باغ، ۱۴۰۱؛ اوسی کای و همکاران، ۲۰۲۱) بوده است. رویکرد تاب‌آوری، رویکردی جدید، پایدار و راهبردی برای مواجه با مخاطرات و تهدیدات در سیستم‌های کلان تا خرد مطرح و دامنه دانش آن از حوزه بیولوژیکی تا مهندسی کشیده شده است. تحت این شرایط زیرساخت‌های حیاتی و تاب‌آوری حیاتی از دهه گذشته به عنوان یکی از دغدغه‌های سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و محققان این حوزه مطرح بوده و مدل‌ها و چهارچوب‌های تحلیلی متعددی در این زمینه ارائه شده است. یکی از این مدل‌ها چرخه سازگاری تاب‌آوری (RAC) بوده است. علیزاده (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای بر روی زیرساخت‌های حیاتی کلانشهر اهواز این مدل را مورد تحلیل قرار داده است. علیزاده و دامن باغ (۱۴۰۱) از این مدل برای تشریح ظرفیت تاب‌آوری در حوزه حمل و نقل شهری در اهواز بهره برده‌اند. فث و همکاران (۲۰۱۵) از این مدل برای تشریح کیفیت و ظرفیت تاب‌آوری در سیستم‌های پیچیده و سالویا و همکاران (۲۰۱۵) برای تشریح تاب‌آوری توسعه مناطق روستایی از این مدل استفاده کرده‌اند. همچنین کرمادس و همکاران (۲۰۱۸) از این مدل برای تشریح تاب‌آوری در مقابله با تغییرات اقلیمی بحث کرده‌اند. در این مطالعه مشخص شد که بین زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان، زیرساخت حیاتی برق دارای وضعیت نامناسبی از منظر تاب‌آوری در هر چهار مرحله مدل بود و کمترین وزن‌ها را در هر چهار مرحله به دست آورد. بعد از این، زیرساخت حیاتی آب دارای وضعیت نامناسب‌تری بود و کمترین وزن‌ها را به خود اختصاص داد. همچنین زیرساخت‌های حیاتی گاز، مخابرات و حمل و نقل، به ترتیب رتبه‌های سوم تا پنجم تاب‌آوری را در قالب مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری در استان خوزستان به دست آوردند. تحلیل نهایی کیفیت زیرساخت‌های حیاتی استان خوزستان از منظر مراحل مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری نشان داد که مرحله سازماندهی مجدد دارای ضعیف‌ترین کیفیت و متعاقباً اولویت بیشتری برای برنامه‌ریزی در راستای ارتقای کیفیت تاب‌آوری زیرساختی در استان خوزستان دارد.

سپاسگزاری

از همه کارشناسان و متخصصانی که در انجام این پژوهش نگارندگان را یاری نموده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

پی نوشت

1- Resilience adaptive cycle (RAC)
2- Holling
3- Survive

4- Hazard identification
5- FTOPSIS
6- Chen and Hwang
7- Fuzzy positive ideal solution (FPIS)
8- Fuzzy negative ideal solution (FNIS)

حامی مالی

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

سهم نویسندگان در پژوهش

همه نویسندگان، در بخش‌های نگارش و تنظیم مقاله حاضر نقش و سهم برابر دارند.

تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

منابع

آنتیزه، ج.، ۱۳۹۷. حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی: تهدیدات، حملات و اقدامات متقابل، ترجمه غلامرضا جلالی‌فراهانی، جعفر معتمد، مهدی هادیان، مهدی طالبی، انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری، چاپ اول، تهران، ۲۴۸ ص.

ابدالی، ی.، حاتمی‌نژاد، ح.، زنگنه شهرکی، س.، پوراحمد، ا. و سلمانی، م.، ۱۴۰۰. تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با رویکرد آینده - پژوهی (مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد)، آینده پژوهی ایران: ۷(۱)، ۲۶-۱. https://jfs.journals.ikiu.ac.ir/?_action=xml&article=2719

اقدسی، آ.، عباسپور، م. و احمدی، آ.، ۱۴۰۰. ارزیابی تاب‌آوری شبکه‌های حمل و نقل ریلی شهری با استفاده از روش Hazid (مورد مطالعه: مترو امام خمینی (ره) شهر تهران)، اقتصاد و مدیریت شهری: ۹(۴) ۱-۱۵. http://iueam.ir/article-1-1776-fa.hml

کروئین، ک. و ماریون، ن.، ۱۴۰۱. حفاظت، مدیریت ریسک و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی، ترجمه بهروز عرب، فرزاد بهتاش، وحید برادران، راضیه رمضانی، شروین اسدزاده، نرگس نوروزی، انتشارات سبک نو، چاپ اول، تهران، ۴۳۶ ص.

تقی پور، ر.، لشکریان، ح. و یزدانی چهاربرج، ر.، ۱۳۹۸. الگوی راهبردی حفاظت سایبری از زیرساخت های اطلاعاتی حیاتی جمهوری اسلامی ایران، امنیت ملی، ۹(۳۴)، ۴۸-۷. https://ns.sndu.ac.ir/?_action=xml&article=862

زیویار، پ. و فرجی ملایی، ا.، ۱۳۹۱. برنامه‌ریزی منطقه‌ای و تعادل شبکه شهری در ایران، جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۲(۲)، ۱۹۳-۱۷۷. SID. https://sid.ir/paper/224091/fa

شیرگیر، ا.، خیرالدین، ر. و بهزادفر، م.، ۱۳۹۸. تبیین الگوی مداخله در زیرساخت‌های سبز شهری با هدف ایجاد تاب‌آوری اکولوژیک شهری با تأکید بر تغییرات اقلیمی (نمونه موردی: محله یوسف‌آباد شهر تهران)، محیط‌شناسی: ۴۵(۳)، ۵۶۵-۵۴۵. https://jes.ut.ac.ir/?_action=xml&article=75006

صنیعی، ا.، ۱۳۹۰. آمایش سرزمین راهی به سوی تعادل نظام شهری و توسعه‌یافتگی، مجله اقتصادی (دوماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی): ۱۱(۹ و ۱۰)، ۱۶۹-۱۸۰. https://ejip.ir/article-1-173-fa.html

عطایی، م.، ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول، شاهرود: ۲۸۰ ص.

علیزاده، ه.، ۱۴۰۰. تحلیل و شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهری براساس مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری (RAC) در کلان‌شهر اهواز، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری: ۹(۴)، ۱۱۲۳-۱۱۰۳. https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_84732.html

علیزاده، ه. و دامن باغ، ص.، ۱۴۰۱. تحلیل ظرفیت تاب‌آوری در سیستم حمل و نقل شهری براساس مدل چرخه سازگاری تاب‌آوری (RAC) مطالعه‌ای در کلان شهر اهواز، چهارمین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری، تبریز. https://civilica.com/doc/1427606

کلهر، ر.، میرزا ابراهیم تهرانی، م. و ابطحی، ا.، ۱۴۰۰. ارزیابی و مدیریت ریسک با رویکرد حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران: ۲۵۵ ص.

گودرزی، م. و حاجیانی، ا.، ۱۴۰۲. آینده‌پژوهی اجرای اهداف سند ملی آمایش سرزمین، مجله علمی آمایش سرزمین: ۱۵(۱)، ۱- ۱۷. https://jtcp.ut.ac.ir/?_action=xml&article=90465

محمدی ده چشمه، م.، علیزاده، ه. و عباسی گوجانی، د.، ۱۳۹۸. تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین کننده‌ی تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل و نقل (مطالعه موردی: کلان شهر اهواز)، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری: ۷(۲)، ۳۹۱-۳۷۵. https://jurbangeo.ut.ac.ir/?_action=xml&article=73010

Alcaraz, C. and Zeadally, S., 2015. Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century, International journal of critical infrastructure protection: 8, 53-66. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2014.12.002

Alizadeh, H. and Sharifi, A., 2020. Assessing resilience of urban critical infrastructure networks: A case study of Ahvaz, Iran. Sustainability: 12(9), 3691. https://doi.org/10.3390/su12093691

Bialas, A., 2016. Risk management in critical infrastructure—Foundation for its sustainable work. Sustainability: 8(3), 240. https://doi.org/10.3390/su8030240

Cantelmi, R., Di Gravio, G. and Patriarca, R., 2021. Reviewing qualitative research approaches in the context of critical infrastructure resilience, Environment Systems and Decisions: 41(3), 341-376. https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-020-09795-8

Collier, P. and Venables, A.J., 2016. Urban infrastructure for development, Oxford Review of Economic Policy: 32(3), 391-409. https://www.jstor.org/stable/26363345

Cremades, R., Surminski, S., Manez Costa, M., Hudson, P., Shrivastava, P. and Gascoigne, J., 2018. Using the adaptive cycle in climate-risk insurance to design resilient futures, Nature Climate Change: 8(1), 4-7. https://doi.org/10.1038/s41558-017-0044-2

Fath, B.D., Dean, C.A. and Katzmair, H., 2015. Navigating the adaptive cycle: an approach to managing the resilience of social systems, Ecology and Society: 20(2). https://www.jstor.org/stable/26270208

Liu, W. and Song, Z., 2020. Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks, Reliability Engineering and System Safety: 193, 106617. https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106617

Murdock, H.J., De Bruijn, K.M. and Gersonius, B., 2018. Assessment of critical infrastructure resilience to flooding using a response curve approach, Sustainability: 10(10), 3470. https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3470

Osei-Kyei, R., Tam, V., Ma, M. and Mashiri, F., 2021. Critical review of the threats affecting the building of critical infrastructure resilience, International Journal of Disaster Risk Reduction: 60, 102316. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102316

Pursiainen, C., 2018. Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? International journal of disaster risk reduction: 27, 632-641. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.08.006

Ribeiro, P.J.G. and Goncalves, L.A.P.J., 2019. Urban resilience: A conceptual framework, Sustainable Cities and Society: 50, 101625.ihttps://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625

Salvia, R. and Quaranta, G., 2015. Adaptive cycle as a tool to select resilient patterns of rural development, Sustainability: 7(8), 11114-11138. https://doi.org/10.3390/su70811114

Sharifi, A. and Yamagata, Y., 2016. Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews: 60, 1654-1677. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.028

Wells, E.M., Boden, M., Tseytlin, I. and Linkov, I., 2022. Modeling critical infrastructure resilience under compounding threats: A systematic literature review, Progress in Disaster Science: 100244. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100244

Vargas-Hernandez, J.GCand Zdunek-Wielgołaska, J., 2021. Urban green infrastructure as a tool for controlling the resilience of urban sprawl, Environ Dev Sustain: 23, 1335-1354. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00623-2

Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y. and Sarker, M.N.I., 2022. MNI. Urban Resilience for Urban Sustainability: Concepts, Dimensions, and Perspectives, *Sustainability*: 14(5), 2481. https://doi.org/10.3390/su14052481