

Measuring urban resilience against flood risk using composite indicators

(Case study: Khorramabad city)

Yaghoob Abdali - Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

Hossein Hataminejad¹ - Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

Saeed Zanganeh Shahraki - Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

Ahmad Pourahmad - Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

Mohammad Salmani - Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

Received: 08 November 2022 Accepted: 22 December 2022

Highlights

- Flooding is one of the most common, widespread, and devastating natural disasters.
- Strengthening capacities to better prepare for, cope with, and recover from adverse effects is crucial for addressing increasing risks from natural events.
- This article establishes a framework for building resilience in Khorramabad city.

Extended abstract

Introduction:

Global climate changes, primarily manifested as global warming and rapid urbanization, exacerbate extreme weather events. Statistics indicate that floods are among the most prevalent and catastrophic natural disasters (Safiah Yusmah et al., 2020: 552). Urban floods caused by heavy rainfall have evolved from gradual accumulation to sudden surges (Masozera et al., 2007: 299; Hallegatte et al., 2013: 802). Therefore, urban flood resilience, crucial for flood control and disaster reduction, has garnered increasing research focus (Obrist et al., 2010: 284; Xu et al., 2018: 5298). The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030), endorsed by the World Conference on Disaster Risk Reduction in 2015, and the 2018 Beijing Resilient City Development Plan, underscore the importance of enhancing urban resilience to disasters (Sun et al., 2022: 1).

To address the growing risk of natural events, it is essential to strengthen capacities that enable vulnerable communities to better prepare for, cope with, and recover from adverse effects. In disaster management literature, this strategy is commonly referred to as resilience. Resilience, when applied to communities, is defined as “the ability of a community to prepare for, plan, absorb, recover, and adapt to actual or potential adverse events in a timely and efficient manner, including rebuilding and improving essential functions and structures.” A resilient community incurs fewer losses and recovers more swiftly from hazardous events (Cutter et al., 2014: 65; Abdali et al., 2022: 6).

Theoretical Framework:

The concept of resilience originated from Holling’s seminal work in ecology, aimed at understanding the instability and dynamics of nature. According to Holling, resilience is “the measure of a system’s ability to absorb change and disturbance while maintaining the same relationships between populations or state variables.” However, resilience is not simply “the ability of a system to return to equilibrium after a temporary disturbance” (Holling, 1973: 14-17). In ecological literature, two definitions of resilience emerged: one that encompasses continuity, change, and unpredictability in a nonlinear and non-equilibrium system (ecological resilience), and another that focuses on efficiency, stability, and predictability in a single equilibrium system (engineering resilience) (Holling, 1996: 25; Folke, 2006: 256). Engineering

¹ Corresponding author: hataminejad@ut.ac.ir

resilience emphasizes rapid and efficient recovery post-disturbance, while ecological resilience is about absorbing changes and ensuring continuity (Pickett et al., 2004: 373).

Methodology:

This study employs a combined multi-criteria decision-making approach using the Analytic Network Process (ANP), DEMATEL technique, and the Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE). The DEMATEL-ANP model identifies internal relationships between indicators, allowing for pairwise comparisons and weight evaluation, while PROMETHEE ranks solutions based on their proximity to the ideal solution, with the best solution being closest to the ideal point (Chen et al., 2011: 909; Chiu et al., 2013: 49; Thor et al., 2013: 27; Ju et al., 2015: 348-349).

Results and Discussion:

Resilience in Khorramabad exhibits a clear spatial pattern, with higher resilience in affluent upper city areas and lower resilience in less affluent lower city areas. This disparity highlights the inequitable distribution of urban facilities and services, emphasizing the need for equitable development and access to vital resources. Economic resilience is surprisingly lower in the city's economic center due to deteriorated infrastructure and the residence of lower socio-economic strata. Institutional resilience is higher in central areas, benefiting from the concentration of governmental, private, and grassroots organizations.

Peripheral areas suffer from inadequate infrastructure, resulting in lower overall resilience. Social capital resilience lacks a specific spatial pattern, with most areas rated as medium to low, indicating weak community connections. Environmental resilience shows that city center areas are more prone to flooding, while higher resilience is observed in different parts of the city, possibly due to land permeability and river positions.

Comparative analysis reveals that regions 1, 4, 7, 13, and 17 have the lowest resilience, while regions 23 and 14 rank high. This analysis provides a comprehensive understanding of resilience levels at the city scale, identifying areas requiring further intervention.

Conclusion:

Mapping the results reveals distinct spatial patterns of resilience and identifies hotspots needing more intervention. Central and western regions, with lower resilience, require more attention. Environmental and infrastructural factors are key, directly relating to land use and planning. The findings can assist Khorramabad's urban planning organizations in integrating disaster resilience into urban planning, transforming reactive plans into proactive adaptation strategies. Additionally, identifying potential hotspots can aid emergency management institutions in effective disaster risk management. Enhancing social resilience is crucial for community capacity building to prepare for, respond to, and adapt to climate change impacts, guiding local stakeholders in fostering fair development and equitable resource access.

Keywords:

Urban flood resilience, Composite indicator, DANP, TOPSIS, Khorramabad

Citation: Abdali, Y., Zanganeh Shahraki, S., hataminejad, H., Pourahmad, A., & Salmani, M. (2024). Measuring urban resilience against flood risk using composite indicators (Case Study: Khorramabad city), *Motaleate Shahri*, 13(50), 61–76. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.021>.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



سنجش تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با استفاده از شاخص‌های ترکیبی نمونه مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد

یعقوب ابدالی - دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
حسین حاتمی‌نژاد^۲ - استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
سعید زنگنه شهرکی - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
احمد پورا احمد - استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
محمد سلمانی - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۷ آبان ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۰۱ دی ۱۴۰۱

چکیده

عملیاتی کردن مفهوم تاب‌آوری در برابر بلایای شهری نقطه عطفی به منظور درک ویژگی‌هایی است که به تاب‌آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی و تعاملات مورد نیاز برای ساخت و حفظ آن کمک می‌کند. در حالی که سنجش تاب‌آوری در برابر بلایای شهری اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده، تاکنون رویکرد بهینه‌ای برای عملیاتی کردن این مفهوم به وجود نیامده است. بنابراین نیاز به انجام مطالعات تجربی بیشتری وجود دارد که چه چیزی تاب‌آوری در برابر بلایا را تشکیل می‌دهد و نحوه سنجش آن چگونه است. شهر خرم‌آباد به دلیل قرار گرفتن در معرض رواناب‌های سطحی جاری شده از کوه‌های اطراف، آب‌گرفتگی‌ها، طغیان رودخانه‌هایی که از مرکز شهر می‌گذرند و ویژگی ذاتی مکان قرارگیری در دره‌ای منحصربه‌فرد، مستعد ریسک‌های زیادی است. محققان پیش‌بینی می‌کنند که رویدادهای مرتبط با آب‌وهوا در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی، فراوانی و شدت آنها را افزایش می‌دهد. عواقب این رویدادها (یعنی خسارات به زیرساخت‌ها و اموال) و همچنین صدمات شخصی و تلفات جانی، احتمالاً افزایش خواهد یافت. در این پژوهش، سنجش تاب‌آوری برویژگی‌ها و ظرفیت‌های ذاتی شهر خرم‌آباد در زمینه وقوع سیلاب‌های ناگهانی از آب‌های سطحی یا ناشی از طغیان رودخانه‌ها متمرکز است. رویکرد اندازه‌گیری مبتنی بر ایجاد یک شاخص ترکیبی بر اساس شش بعد اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی، سرمایه اجتماعی و محیطی تاب‌آوری جامعه در برابر سیل است. این پژوهش با توسعه یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی انجام گرفته است؛ مدل ترکیبی DANP برای اولویت‌بندی شاخص‌های انتخابی و مدل TOPSIS به منظور رتبه‌بندی نواحی شهری خرم‌آباد بر اساس سطوح تاب‌آوری آنها استفاده شده است. بیشتر داده‌های ارائه شده برای شاخص‌ها عمدتاً از مرکز آمار ایران به عنوان مرجع منحصربه‌فرد آمار رسمی کشور به دست آمده است. سایر داده‌های مورد نیاز از منابع اطلاعاتی در دسترس عموم شهرداری خرم‌آباد، سازمان مدیریت و پیشگیری از بلایای طبیعی، نوسازی و تجهیز مدارس ایران و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران بازیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ناحیه ۲۳ تاب‌آورترین ناحیه در شهر خرم‌آباد است، در حالی که نواحی ۱، ۴، ۷، ۱۳ و ۱۷ دارای کمترین سطح تاب‌آوری هستند. چنین ارزیابی‌هایی مبتنی بر مکان فرصت و ابزاری برای ردیابی عملکرد جامعه در طول زمان را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهند تا تفکر تاب‌آوری را در توسعه شهری و برنامه‌ریزی شهری تاب‌آور ادغام نمایند.

واژگان کلیدی: تاب‌آوری سیل شهری، شاخص ترکیبی، DANP، TOPSIS، خرم‌آباد.

نکات برجسته

- بلایای سیل یکی از شایع‌ترین، گسترده‌ترین و فاجعه‌آمیزترین بلایای طبیعی است.
- یکی از راه‌های مقابله با افزایش خطر رویدادهای خطرناک طبیعی، تقویت ظرفیت‌هایی است که به جوامع آسیب‌دیده اجازه می‌دهد تا بهتر در برابر اثرات نامطلوب آماده شوند، مقابله کنند و خود را بازیابی نمایند.
- این مقاله یک چارچوب برای تاب‌آوری شهر خرم‌آباد ایجاد می‌کند.

۱ برگرفته از رساله دکتری یعقوب ابدالی با عنوان «ارائه الگوی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات محیطی (سیل) با رویکرد آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهر خرم‌آباد)»، با راهنمایی مشترک حسین حاتمی‌نژاد و سعید زنگنه شهرکی و مشاوره مشترک احمد پورا احمد و محمد سلمانی در دانشگاه تهران.

۲ نویسنده مسئول مقاله: hataminejad@ut.ac.ir

۱. مقدمه

تغییرات آب و هوایی جهانی که در درجه نخست با گرم شدن کره زمین و توسعه سریع شهرنشینی نمایانگر می‌شود، رویدادهای شدید آب و هوایی را تشدید می‌کند. آمارها نشان می‌دهد که بلایای سیل یکی از شایع‌ترین، گسترده‌ترین و فاجعه‌آمیزترین بلایای طبیعی است (Safiah Yusmah, et al., 2020: 552; Abdali, et al., 2023: 156). سیلاب‌های شهری ناشی از بارندگی شدید از تجمع تدریجی تا موج ناگهانی، توسعه یافته‌اند (Hallegatte, et al., 2007: 299; Masozera, et al., 2013: 802). بنابراین تاب‌آوری در برابر سیل که در کنترل سیلاب شهری و کاهش بلایا از اهمیت بالایی برخوردار است، به تدریج در کانون پژوهش‌های کنونی قرار گرفته است (Xu, et al., 2010: 284; Obrist, et al., 2018: 5298). چارچوب کاهش بلایا ۲۰۳۰-۲۰۱۵ سندای^۱ که توسط کنفرانس جهانی کاهش خطر بلایا^۲ در سال ۲۰۱۵ صادر شد و تحقیق در مورد طرح کلی برنامه‌ریزی شهر تاب‌آور پکن که توسط چین در سال ۲۰۱۸ منتشر شد، همگی بر افزایش توانایی شهرها در واکنش به بلایا از طریق بهبود تاب‌آوری تأکید داشته‌اند که نشان می‌دهد توجه بین‌المللی بیش از پیش به تاب‌آوری شهری در برابر سیل معطوف شده است (Sun, et al., 2022: 1).

یکی از راه‌های مقابله با افزایش خطر رویدادهای خطرناک طبیعی، تقویت ظرفیت‌هایی است که به جوامع آسیب‌دیده اجازه می‌دهد تا بهتر در برابر اثرات نامطلوب آماده شوند، مقابله کنند و خود را بازیابی نمایند. در ادبیات مدیریت بلایا، این راهبرد در حال حاضر معمولاً به‌عنوان تاب‌آوری‌سازی نامیده می‌شود. تاب‌آوری زمانی که برای جوامع به کار می‌رود، می‌تواند به‌عنوان «توانایی یک جامعه برای آماده‌سازی و برنامه‌ریزی، جذب، بازیابی و انطباق موفقیت‌آمیزتر با رویدادهای نامطلوب واقعی یا بالقوه به‌موقع و کارآمد، از جمله بازسازی و بهبود عملکردها و ساختارهای اساسی» تعریف شود. تاب‌آوری به‌طور کلی یک ویژگی مثبت و مطلوب در نظر گرفته می‌شود. زیرا جامعه‌ای که تاب‌آور است، ضررهای کمتری متحمل می‌شود و در صورت مواجهه با یک رویداد خطرناک سریع‌تر بهبود می‌یابد (Cutter, et al., 2014: 65; Abdali, et al., 2022: 6; Abdali, et al., 2023: 157).

باین‌حال برای تقویت تاب‌آوری یک جامعه ابتدا باید یک خط مبنا ایجاد کرد؛ یک معیار اولیه که امکان مقایسه ظرفیت‌های تاب‌آوری جوامع را بر اساس معیارهای معین فراهم می‌کند. هنگامی که خط مبنا ایجاد شد، شاخص‌های شناسایی شده می‌توانند برای ردیابی تغییرات در طول زمان و برنامه‌ریزی بالقوه برای مداخلات هدفمند قبل، حین یا پس از یک رویداد شدید مورد استفاده قرار گیرند. درحالی‌که قابلیت اندازه‌گیری مفهوم مبهمی مانند تاب‌آوری توسط محققان زیادی به چالش کشیده شده است (Cumming, et al., 2005: 979; Weichselgartner & Kelman, 2015: 254). متخصصان نیز به سودمندی اقدامات تاب‌آوری در کاهش خطر بلایا استدلال کرده و تأکید می‌کنند که بدون ارزیابی کمی تاب‌آوری برای مقایسه بین نهادها، نظارت بر پیشرفت، شناسایی مناطق برای بهبود یا مناطقی که نیاز به کمک بیشتری دارند، امکان‌پذیر نیست (Béné, et al., 2021: 5).

- 1 Sendai
- 2 World Conference on Disaster Risk Reduction

(Burton, 2015: 2; Cutter, 2016: 743; IFRC, 2016: 6). به گفته طرفداران سنجش تاب‌آوری، شاخص‌های عددی می‌توانند به ابزارهای مهم برنامه‌ریزی در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی تبدیل شوند. در ایران، تحقیقات تاب‌آوری هنوز در مراحل اولیه است. کارهای کمی که انجام گرفته مبتنی بر شاخص‌های محدود و مطالعه موردی است. با توجه به دانش نویسندگان، هنوز هیچ تلاشی برای شناسایی شاخص‌های قابل اندازه‌گیری تاب‌آوری در شهرهای کشور صورت نگرفته است. شهر خرم‌آباد به دلیل قرار گرفتن در معرض رواناب‌های سطحی جاری شده از کوه‌های اطراف، آب‌گرفتگی‌ها، طغیان رودخانه‌هایی که از مرکز شهر می‌گذرند و ویژگی ذاتی مکان قرارگیری در دره‌ای منحصربه‌فرد، مستعد ریسک‌های زیادی است. محققان پیش‌بینی می‌کنند که رویدادهای مرتبط با آب‌وهوا در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی، فراوانی و شدت آنها را افزایش می‌دهد. عواقب این رویدادها (یعنی خسارات به زیرساخت‌ها و اموال) و همچنین صدمات شخصی و تلفات جانی، احتمالاً افزایش خواهد یافت. این مقاله یک شاخص تاب‌آوری برای شهر خرم‌آباد ایجاد می‌کند. این شاخص از شش معیار و ۲۴ مؤلفه تشکیل شده که از شاخص تاب‌آوری پایه برای جوامع الهام گرفته شده است. شاخص تاب‌آوری پایه برای جوامع در ابتدا به وسیله کاتر و همکارانش در مؤسسه تحقیقاتی خطر و آسیب‌پذیری در دانشگاه کارولینای جنوبی توسعه یافت (Cutter, et al., 2010: 14; Cutter et al., 2014: 65).

۲. مبانی نظری

ریشه‌های مفهوم تاب‌آوری اغلب به کار اصلی هالینگ برمی‌گردد که به منظور کشف ناپایداری‌ها و پویایی‌های طبیعت، مفهوم تاب‌آوری را در اکولوژی معرفی کرد. به گفته او تاب‌آوری «معیار تداوم سیستم‌ها و توانایی آنها برای جذب تغییر و اختلال و همچنان حفظ همان روابط بین جمعیت‌ها یا متغیرهای حالت است». باین‌حال تاب‌آوری «توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت تعادل پس از یک اختلال موقت» نیست (Holling, 1973: 14-17). این همان چیزی است که هالینگ به ثبات سکه‌ها می‌پردازد. باین وجود در ادبیات اکولوژیکی، دو تعریف از تاب‌آوری پدیدار شد؛ نخستین مورد تداوم، تغییر و غیرقابل پیش‌بینی بودن را در یک سیستم غیرخطی و غیرتعادلی در بر می‌گیرد و دومی بر کارایی، ثبات و پیش‌بینی‌پذیری در یک سیستم تک‌تعادلی که همیشه نزدیک به یک حالت پایدار است، تمرکز دارد. مورد نخست، مطابق با مکتب فکری هالینگ، اکنون تاب‌آوری اکولوژیکی نامیده می‌شود. درحالی‌که دومی تاب‌آوری مهندسی نامیده می‌شود (Holling, 1996: 25). تاب‌آوری مهندسی بر بازگشت سریع و کارآمد به حالت عادی پس از یک اختلال تمرکز دارد (Folke, 2006: 256). از سوی دیگر تاب‌آوری اکولوژیکی در مورد جذب تغییرات و تداوم، در مورد «ماندن در بازی» است (Pickett, et al., 2004: 373).

ازنجایی که تاب‌آوری شهری مفهومی پیچیده است و عملیاتی کردن آن دشوار است، توسعه تکنیک یا روشی برای به فعلیت رساندن این مفهوم نقطه عطف بزرگی در جهت درک عوامل و تعاملاتی است که به ایجاد و حفظ تاب‌آوری کمک می‌کنند (Kwak, et al., 2021: 5). چارچوب‌های نظری و مفروضات تاب‌آوری در برابر بلایا فراوان است؛

شاخص‌های انتخاب شده در نهایت باید برای بافت شهر خرم‌آباد معقول و قابل توجیه باشند. به همین دلیل است که فهرست شاخص‌های پیشنهادی کاتر و همکاران، تنها به‌عنوان راهنمای تقریبی برای جمع‌آوری داده‌ها عمل می‌کند و با سایر مطالعات سنجش تاب‌آوری تکمیل می‌گردد. آنچه برای شاخص تاب‌آوری جامعه در خرم‌آباد یکسان باقی مانده، چارچوب مفهومی با شش معیار تاب‌آوری و رویکرد سلسله مراتبی به ساخت شاخص است (مراجعه شود به جدول شماره ۱).

۳. طرح و روش تحقیق

شاخص‌های پایه تاب‌آوری اجتماع به‌عنوان چارچوب پایه نظری برای ایجاد شاخص‌های اولیه جهت سنجش تاب‌آوری شهر خرم‌آباد انتخاب شد. اگرچه این تحقیق شاخص‌های تاب‌آوری پایه را برای جامعه به‌عنوان مبنایی برای ساخت شاخص ترکیبی اتخاذ می‌کند، اما به شاخص‌های فردی ارائه شده به وسیله کاتر و همکارانش محدود نمی‌شود. برای این منظور، بر اساس ادبیات موجود، مانند چارچوب «مردم»، چارچوب «شاخص تاب‌آوری شهر»، چارچوب «MISR»، شاخص‌های مرتبط، قوی و معرف شناسایی شدند (Cutter, et al., 2010: 15). علاوه بر این در دسترس بودن و مقیاس‌پذیری داده‌ها در سطح ناحیه شهری به‌دقت بررسی شد و در نهایت مجموعه نهایی کاندیدای شاخص‌های فردی تعریف شدند. در این پژوهش طرح سنجش تاب‌آوری با تمرکز بر ویژگی‌ها و ظرفیت‌های ذاتی مکان (نواحی ۲۴ گانه شهر خرم‌آباد) و با رویکرد شاخص محور مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های پژوهش بر اساس یک مجموعه مشترک از شاخص‌های معتبر و خاص، یک خط مبنا بر ویژگی‌های موجود ۲۴ ناحیه شهری با توجه به شش بعد تاب‌آوری ارائه شد (جدول شماره ۱). مجموعه داده‌های ارائه شده برای شاخص‌ها عمدتاً از مرکز آمار ایران به‌عنوان مرجع منحصربه‌فرد آمار رسمی کشور به‌دست آمده است (Statistical Centre of Iran, 2016). سایر داده‌های مورد نیاز از منابع اطلاعاتی شهرداری خرم‌آباد، سازمان مدیریت و پیشگیری از بلایای طبیعی، نوسازی و تجهیز مدارس ایران و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران بازیابی شده است. روش مورد استفاده در این مطالعه، یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه^۲، تکنیک دیمتل^۳ و تکنیک ترجیح سفارش با شباهت به یک راه‌حل ایده‌آل^۴ است. درحالی‌که مدل ترکیبی دیمتل-تحلیل شبکه^۵ شناسایی روابط درونی شاخص‌ها و امکان ارزیابی مؤلفه‌ها را با مقایسه زوجی و به دست آوردن وزن‌ها فراهم می‌کند، تاپسیس راه‌حل‌ها را بر اساس ایده به حداکثر رساندن فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی (کمترین تاب‌آوری) و به حداقل رساندن فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بیشترین تاب‌آوری) سفارش می‌دهد. بنابراین بهترین راه‌حل، نزدیک‌ترین راه‌حل به نقطه ایده‌آل است (Chiu, et al., 2011: 909; Chen, et al., 2013: 349-348; Thor, et al., 2013: 27; Ju, et al., 2015: 348-349).

2 Analytical Network Process (ANP)

3 Decision Making Trial and Evaluation (DEMATEL)

4 Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS)

5 DEMATEL ANP (DANP)

از جمله رویکردهای متنوعی که برای عملیاتی کردن تاب‌آوری شهری در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف و زمینه‌های مخاطره ایجاد شده است (Movahed & Tabibian, 2020: 110). با وجود این واقعیت که هیچ رویکرد استاندارد برای اندازه‌گیری تاب‌آوری در برابر بلایا وجود ندارد، مدل تاب‌آوری مکانی در برابر بلایا^۱ به وسیله کاتر و همکاران (۲۰۰۸) برای بهبود ارزیابی‌های مقایسه‌ای تاب‌آوری در برابر بلایا در سطح محلی یا جامعه ایجاد شده و نیاز به تحقیقات تجربی و مبتنی بر شواهد بیشتر در مورد ارزیابی تاب‌آوری شهری را برجسته کرد. مدل تاب‌آوری مکانی در برابر بلایا اغلب به‌عنوان یکی از چارچوب‌های مفهومی شناخته شده در نظر گرفته می‌شود که بر شرایط پیشین و ذاتی در جوامع تمرکز می‌کند و بر نقش ظرفیت‌های جذبی و مقابله‌ای برای ایجاد و افزایش تاب‌آوری در برابر بلایا تأکید می‌کند (Moghadas, et al., 2019: 1). نسخه عملیاتی شده مدل به نام چارچوب «شاخص‌های پایه تاب‌آوری اجتماع» نخستین تلاش این مدل برای عبور از یک چارچوب نظری به یک عمل عملیاتی شده بود. شاخص‌های تاب‌آوری پایه برای چارچوب جامعه، مفهوم تاب‌آوری جامعه را هم به‌عنوان تاب‌آوری ذاتی قبل از رویداد (استقامت) و هم تاب‌آوری انطباقی پس از رویداد (تحول) در نظر می‌گیرد (Cutter, 2010: 1; Cutter, 2014: 68; Spett, 2021: 1). به گفته اسدزاده و همکاران (۲۰۱۷) و شریفی (۲۰۱۶)، شاخص‌های تاب‌آوری پایه برای جامعه شامل پوشش گسترده‌ای از ابعاد تاب‌آوری جامعه در مقایسه با سایرین است؛ با رویکردی اجتماعی-اکولوژیکی در واحدهای فضایی برای بافت چند مخاطره. علاوه بر این یکی از کاربردی‌ترین چارچوب‌ها در ادبیات موجود در مورد کمی سازی تاب‌آوری جامعه در برابر بلایا از طریق ایجاد شاخص است (Frazier, et al., 2013: 95; Singh-Peterson, et al., 2014: 117; Cutter, et al., 2016: 4; Sharifi, 2016: 631-633; Asadzadeh, et al., 2017: 2; Moghadas, et al., 2019: 1).

شاخص‌های تاب‌آوری پایه اجتماع، یک شاخص سلسله‌مراتبی جامع است که از ۴۹ شاخص و شش معیار تاب‌آوری (اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی، سرمایه اجتماعی و محیطی) تشکیل شده است (Cutter, et al., 2014: 67). شاخص‌های پایه تاب‌آوری اجتماع مبتنی بر چارچوب نظری مدل تاب‌آوری مکانی در برابر بلایا است (Cutter, et al., 2008: 9). یکی از جنبه‌های مدل تاب‌آوری مکانی در برابر بلایا به شرایط قبلی ایجاد شده از طریق تعامل سیستم‌های اجتماعی، طبیعی و محیطی ساخته شده می‌پردازد. فرض بر این است که شرایط پیشین (که شامل آسیب‌پذیری‌های ذاتی و تاب‌آوری ذاتی است) قبل از وقوع یک رویداد خطرناک وجود دارد. شاخص‌های پایه تاب‌آوری اجتماعات، کمیت مؤلفه تاب‌آوری ذاتی مدل تاب‌آوری مکانی در برابر بلایا است (Scherzer, et al., 2019: 6). شاخص‌های ارائه شده در این مقاله، اقتباسی از شاخص‌های پایه تاب‌آوری اجتماع است (Cutter, et al., 2014: 69). et al., 2010: 17; Cutter, et al., 2010: 17; Cutter, et al., 2014: 69). شاخص‌های تاب‌آوری ایالات متحده برای بافت شهرهای ایرانی نیست، همان‌طور که سینگ‌پترسون و همکاران برای کوئینزلند، استرالیا انجام دادند (Singh-Peterson, et al., 2014: 119). از آنجایی‌که شاخص تاب‌آوری جامعه برای خرم‌آباد باید مختص کشور ایران باشد،

1 Disaster Resilience Of Place (DROP)

جدول شماره ۱۵: مجموع شاخص های منتخب برای شش بعد تاب آوری

ابعاد	شاخص	توصیف گر	جهت اثرگذاری
اجتماعی	جنسیت	نسبت مردان به زنان	+
	جمعیت مستقل	درصد جمعیت بین ۵۹-۱۵ سال	+
	امکانات تفریحی عمومی	پارک ها، سینماها، سالن های ورزشی به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
اقتصادی	عدالت آموزشی	درصد جمعیت باسواد	+
	مالکیت خانه	درصد مالکیت واحدهای مسکونی	+
	نرخ بیکاری	درصد بیکاری	-
نهادی	نیروی کارزن	درصد نیروی کارزن	+
	زیرساخت های تجاری در معرض خطر	تراکم زیرساخت های تجاری در هر ناحیه	-
	فرآیند نهادی	تعداد نهادهای موازی در هر ناحیه	-
زیرساختی	ویژگی های فیزیکی نهادی	تعداد سازمان ها و نهادهای دولتی، خصوصی و مردم نهاد در هر ناحیه	+
	نوع استحکام مسکن	درصد مساکن دارای مصالح ساختمانی بادوام	+
	یافت فرسوده	درصد یافت فرسوده شهری در هر ناحیه	-
سرمايه اجتماعی	پتانسیل دسترسی/تخلیه	شریان اصولی در هر کیلومتر مربع	+
	پتانسیل مرمت مدارس	تعداد مدارس به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
	ظرفیت مراقبت های پزشکی	تعداد تخت های بیمارستانی به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
محیطی	دسترسی به سرپناه موقت	مجموع تعداد هتل ها، متل ها و پناهگاه های موقت به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
	فراوانی خدمات اضطراری برای پاسخ و بازیابی	تعداد ایستگاه های آتش نشانی، پلیس و مراکز عملیات اضطراری به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
	تعلق مکانی	درصد جمعیت مهاجر	-
محیطی	مراکز مذهبی	تعداد مراکز مذهبی به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
	خدمات فرهنگی و تاریخی	تعداد اماکن هنری، تاریخی، موزه ها و کتابخانه ها به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
	سازمان های ذی نفوذ مدنی و اجتماعی	تعداد سازمان های ذی نفوذ مدنی و اجتماعی به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر	+
محیطی	تعداد انشعابات رودخانه	طول رودخانه ها در هر کیلومتر مربع در هر ناحیه	-
	شکل ظاهری زمین	نسبت فضای ساخته شده و ساخت نشده در هر ناحیه	-
	پارک ها و فضاهای سبز شهری	نسبت مساحت پارک ها و فضاهای سبز شهری نسبت به مساحت ناحیه	+

Source: Cutter, et al., 2008; Mayunga, 2009; Cutter, et al., 2010; Renschler, et al., 2010; Burton, 2012; PWC, 2013; Cutter, et al., 2014; Asadzadeh, et al., 2015; Moghadas, et al., 2019; Abdali, et al., 2023.

۳.۱. تعیین وزن نسبی معیارها با روش DANP

مورد برهمکنش عوامل i^{th} و j^{th} به شکل اعداد غیر منفی صحیح در ماتریس رتبه $n \times n$ نشان می دهد.

$$B = [b_{ij}]_{n \times n} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H [p_{ij}^k]; 1 \leq i, j \leq n; 1 \leq K \leq H$$

در این مرحله برای این که بتوانیم بر اساس نظر کارشناسی وزن دهی انجام دهیم، از نظرات کارشناسان که دانش عمیقی از مدیریت ریسک سیل در شهر خرم آباد داشتند، در مورد روابط درونی متغیرها و اهمیت نسبی شاخص های فردی برای تاب آوری سیل استفاده شد. پس از آن میانگین وزن های داده شده توسط دوازده خبره را به عنوان وزن نهایی هر شاخص با استفاده از روش DANP محاسبه کردیم. آمار توصیفی کارشناسان و متخصصان نشان می دهد که اغلب پاسخ دهندگان (۵۸ درصد) بین ۳۶-۴۵ سال سن دارند. اکثر پاسخ دهندگان را مردان (۶۷ درصد) تشکیل می دهند. ۵۸ درصد پاسخ دهندگان دارای مدرک دکتری هستند؛ همچنین بیشتر کارشناسان بیش از پنج سال سابقه اجرایی دارند.

DANP برای تعیین شدت وابستگی های متقابل معیارهای مربوطه و همچنین برای محاسبه اهمیت معیار برای دستیابی به هدف اصلی تاب آوری شهر خرم آباد استفاده شد. مزایای استفاده از روش DANP به خوبی به وسیله پای توضیح داده شده است. DANP اثرات متقابل معیارها را به عنوان مقادیر غیر متقابل نشان می دهد و سوپر ماتریس های غیر وزنی را با اعمال مقایسه های زوجی (مقایسه اثرات زوجی) با اثرات کل ماتریس در کل سیستم محاسبه می کند که سیستم واقعی را بهتر توصیف می کند. مراحل اساسی DANP عبارتند از: (Chiu, et al., 2013; 50-52; Pai, 2014: 3071; Büyükožkan & Gülerüüz, 2016: 437)

مرحله ۱: تعریف معیارها (عوامل) و جنبه ها (ابعاد). برای تعیین معیارها و جنبه های مربوطه، بررسی ادبیات علمی در حوزه مورد نظر و انجام بررسی ضروری است.

مرحله ۲: محاسبه ماتریس رابطه مستقیم B. ماتریس B ماتریس میانگین پاسخ های همه متخصصان H را به صورت رابطه شماره ۱۵ نشان می دهد که در آن $P^k = [p_{ij}^k]_{n \times n}$ پاسخ های k متخصص را در

جدول شماره ۲: مشخصات کارشناسان و متخصصان ریسک و تاب آوری

سن	فراوانی	درصد	جنس	فراوانی	درصد	تحصیلات	فراوانی	درصد	سابقه اجرایی (سال)	فراوانی	درصد
۲۵-۳۵	۳	۲۵	مرد	۸	۶۷	فوق لیسانس	۵	۴۲	۵-۱	۳	۲۵
۳۶-۴۵	۷	۵۸		۷	۳۳	دکتری	۷	۵۸	۱۰-۶	۵	۴۲
+۴۶	۲	۱۷	زن	۴	۳۳				+۱۰	۴	۳۳

q را می توان به منظور نادیده گرفتن روابط معیارها با تأثیرات کوچک در ماتریس T تنظیم کرد.

مرحله ۶: محاسبه تأثیر معیارها و ساخت نقشه رابطه تأثیر بر اساس مقدار آستانه پذیرفته شده q، مقادیر مجموع ردیف و ستون ماتریس T به شرح رابطه شماره ۵ محاسبه می شود که در آن مقادیر مجموع ردیف r تأثیر کلی یک معیار معین را بر سایر معیارها نشان می دهد و مقادیر مجموع ستون s تأثیر کلی معیارهای دیگر را بر یک معیار مشخص نشان می دهد. علامت (') یک ماتریس انتقال یافته را نشان می دهد. عبارت (r+s) اهمیت معیارها را نشان می دهد. عبارت (r-s) معیارها و جنبه ها را در گروه های علت و معلول مرتب می کند. با مقدار مثبت (r-s)، یک معیار (یا عنصر) در گروه علت (تأثیرگذار) قرار می گیرد. در غیر این صورت، معیار (یا خوشه) در گروه معلول (تأثیرپذیر) قرار می گیرد.

$$r = [r_i]_{n \times 1} = \sum_{j=1}^n t_{ij}; 1 \leq i \leq n; s = [s_j]_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n}; 1 \leq j \leq n$$

مرحله ۷: به دست آوردن سوپر ماتریس غیر وزنی W. برای این منظور از ماتریس تأثیر کل T استفاده می شود. ماتریس T در واقع نمایانگر ماتریس تأثیر کل معیار T_c^a است. ماتریس تأثیر کل نرمال شده برای معیارهای T_c^a بر اساس رابطه شماره ۶ محاسبه می شود، که در آن

$$T_c^a = \begin{matrix} & D_1 & D_2 & \dots & D_m \\ & c_{11} \dots c_{1n_1} & c_{21} \dots c_{2n_2} & \dots & c_{m1} \dots c_{mn_m} \\ D_1 & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{11}} \\ T_c^{\alpha_{12}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{1n_1}} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{21}} \\ T_c^{\alpha_{22}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{2n_2}} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{m1}} \\ T_c^{\alpha_{m2}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{mn_m}} \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_2 & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{21}} \\ T_c^{\alpha_{22}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{2n_2}} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{22}} \\ T_c^{\alpha_{23}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{2n_2}} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{2m1}} \\ T_c^{\alpha_{2m2}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{2mn_m}} \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_m & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{m1}} \\ T_c^{\alpha_{m2}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{mn_m}} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{m2}} \\ T_c^{\alpha_{m3}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{mn_m}} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha_{mm}} \\ T_c^{\alpha_{m2}} \\ \vdots \\ T_c^{\alpha_{mn_m}} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

برای معیارهای T_c^a است، درحالی که $i = 1, 2, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, m$ است.

$$W = (T_c^a)' = \begin{matrix} & D_1 & D_2 & \dots & D_m \\ & c_{11} \dots c_{1n_1} & c_{21} \dots c_{2n_2} & \dots & c_{m1} \dots c_{mn_m} \\ D_1 & \begin{bmatrix} W^{11} \\ W^{12} \\ \vdots \\ W^{1n_1} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} W^{21} \\ W^{22} \\ \vdots \\ W^{2n_2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} W^{m1} \\ W^{m2} \\ \vdots \\ W^{mn_m} \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_2 & \begin{bmatrix} W^{21} \\ W^{22} \\ \vdots \\ W^{2n_2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} W^{22} \\ W^{23} \\ \vdots \\ W^{2n_2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} W^{2m1} \\ W^{2m2} \\ \vdots \\ W^{2mn_m} \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_m & \begin{bmatrix} W^{m1} \\ W^{m2} \\ \vdots \\ W^{mn_m} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} W^{m2} \\ W^{m3} \\ \vdots \\ W^{mn_m} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} W^{mm} \\ W^{m2} \\ \vdots \\ W^{mn_m} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

مرحله ۳: محاسبه ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده X. ماتریس X به صورت رابطه شماره ۲ محاسبه می شود، که در آن g ضریب نرمال سازی است که به صورت رابطه شماره ۳ محاسبه می شود:

$$X = [x_{ij}]_{n \times n} = g \cdot B; 0 \leq x_{ij} \leq 1; 1 \leq i, j \leq n$$

$$g = \min \left(\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \frac{1}{\min_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n b_{ij}} \right)$$

مرحله ۴: تعیین ماتریس تأثیر کل T. برای تعیین ماتریس تأثیر کل T، از ماتریس همانی I در رتبه n x n به شرح رابطه شماره ۴ استفاده می شود:

$$T = [t_{ij}]_{n \times n} = X(I-X)^{-1}; 1 \leq i, j \leq n; \lim_{k \rightarrow \infty} X^k = [0]_{n \times n}$$

مرحله ۵: تنظیم مقدار آستانه q. طبق نظر کارشناسان، مقدار آستانه

مرحله ۷: به دست آوردن سوپر ماتریس غیر وزنی W. برای این منظور از ماتریس تأثیر کل T استفاده می شود. ماتریس T در واقع نمایانگر ماتریس تأثیر کل معیار T_c^a است. ماتریس تأثیر کل نرمال شده برای معیارهای T_c^a بر اساس رابطه شماره ۶ محاسبه می شود، که در آن

در رابطه شماره ۸ نشان داده شده، ماتریس تأثیر کل نرمال شده برای جنبه های T_D^a محاسبه می شود.

$$t_D^a = \begin{bmatrix} t_D^{11}/d_1 & \dots & t_D^{1j}/d_1 & \dots & t_D^{1m}/d_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_D^{i1}/d_i & \dots & t_D^{ij}/d_i & \dots & t_D^{im}/d_i \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_D^{m1}/d_m & \dots & t_D^{mj}/d_m & \dots & t_D^{mm}/d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{a11} & \dots & t_D^{a1j} & \dots & t_D^{a1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_D^{ai1} & \dots & t_D^{aij} & \dots & t_D^{aim} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_D^{am1} & \dots & t_D^{amj} & \dots & t_D^{amm} \end{bmatrix}$$

مرحله ۹: محاسبه ابرماتریس وزنی W_a . برای این منظور از ماتریس تأثیر کل برای جنبه های T_D استفاده می شود. ماتریس T_D مجموع تمام تأثیرات هر جنبه در ماتریس T_c را نشان می دهد. همان طور که

بر اساس رابطه شماره ۹ W_a سوپر ماتریس $i = 1, 2, \dots, m$ محاسبه می شود:

$$W_a = t_D^a \cdot W = \begin{bmatrix} t_D^{a11} \cdot W^{11} & t_D^{a21} \cdot W^{12} & \dots & \dots & t_D^{am1} \cdot W^{1m} \\ t_D^{a12} \cdot W^{21} & t_D^{a22} \cdot W^{22} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & t_D^{aji} \cdot W^{ij} & \dots & t_D^{ami} \cdot W^{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_D^{a1m} \cdot W^{m1} & t_D^{a2m} \cdot W^{m2} & \dots & \dots & t_D^{amm} \cdot W^{mm} \end{bmatrix}$$

جایی که t_D^{ij} مجموع همه تأثیرات زیرماتریس t_c^{ij} از کل ماتریس تأثیر را برای معیارها نشان می دهد و جایی که d_i نشان دهنده مجموع ردیف i^{th} در سوپر ماتریس برای عناصر T_D است، درحالی که

ابزار TOPSIS استخراج وزن را ارائه نمی دهد (Ju, et al., 2015: 359; Chen & Chen, 2010: 1985; Moghadas, et al., 2019: 3) با توجه به این محدودیت، اوزان از روش DANP به دست آمدند. تصویر شماره ۱ نمودار شماتیک روش ترکیبی اعمال شده را نشان می دهد. به گفته یون و هوانگ، (۱۹۸۱)، روش TOPSIS را می توان در یک سری مراحل زیر بیان کرد (Hwang & Yoon, 1981: 60; Ju, et al., 2015: 359-361; Chen & Chen, 2010: 1985-1987; Moghadas, et al., 2019: 3-4):

مرحله ۱: ساخت ماتریس تصمیم^۱، عناصر (X_{ij}) ماتریس با مقدار شاخص i ($i = 1, \dots, m$) نسبت به منطقه شهری I_j ($j = 1, \dots, m$) مرتبط است. عناصر I_1, I_2, \dots, I_n به شاخص ها اشاره دارد درحالی که D_1, D_2, \dots, D_n به مناطق شهری اشاره دارد (رابطه شماره ۱).

$$DM = \begin{matrix} I_1 & I_2 & \dots & I_n \\ \begin{matrix} D_1 \\ D_2 \\ M \\ D_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ M & M & O & M \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

مرحله ۲: محاسبه ماتریس تصمیم گیری نرمال شده وزنی، این مرحله از

1 Decision Matrix (DM)

مرحله ۱۰: به دست آوردن وزن نسبی معیارها. لازم است سوپر ماتریس W_a^k در خودش چندین بار ضرب شود تا سوپر ماتریس وزن محدود W_a^k با یک مقدار همگرایی پایدار محاسبه شود. همان طور که در رابطه شماره ۱۰ نشان داده شده که در آن عدد k نشان دهنده یک عدد صحیح مثبت است که به سمت بی نهایت میل می کند. هر بردار سوپر ماتریس محدود W_a^k وزن نسبی هر معیار را در رابطه با هدف تعریف شده نشان می دهد.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (W_a^k) = W_a^k$$

۳.۲. رتبه بندی نواحی شهری با استفاده از روش TOPSIS

هدف دوم و نهایی، مقایسه و رتبه بندی نواحی شهری خرم آباد بر اساس سطح تاب آوری آنهاست. برای این منظور از تکنیک TOPSIS استفاده شد. تاپسیس به دلیل سادگی و توانایی آن در نظر گرفتن تعداد نامحدودی از گزینه ها و معیارها، تکنیکی است که به طور گسترده برای فرآیندهای تصمیم گیری چندمعیاره استفاده می شود. این تکنیک چندین جایگزین را در یک رویکرد جبرانی بر اساس این مفهوم مقایسه می کند که «جایگزین ایده آل بهترین سطح را برای همه ویژگی ها دارد، درحالی که ایده آل منفی، جایگزینی است که بدترین مقادیر همه ویژگی ها را دارد». منطق آن بیانگر منطق انتخاب انسان است که نسبت به روش های غیر جبرانی واقع بینانه تر است و به همین ترتیب، در نظر گرفتن همزمان راه حل های ایده آل و غیر ایده آل آن را به یک تکنیک بسیار مفید در فرآیند MCDM تبدیل کرده است. باین حال

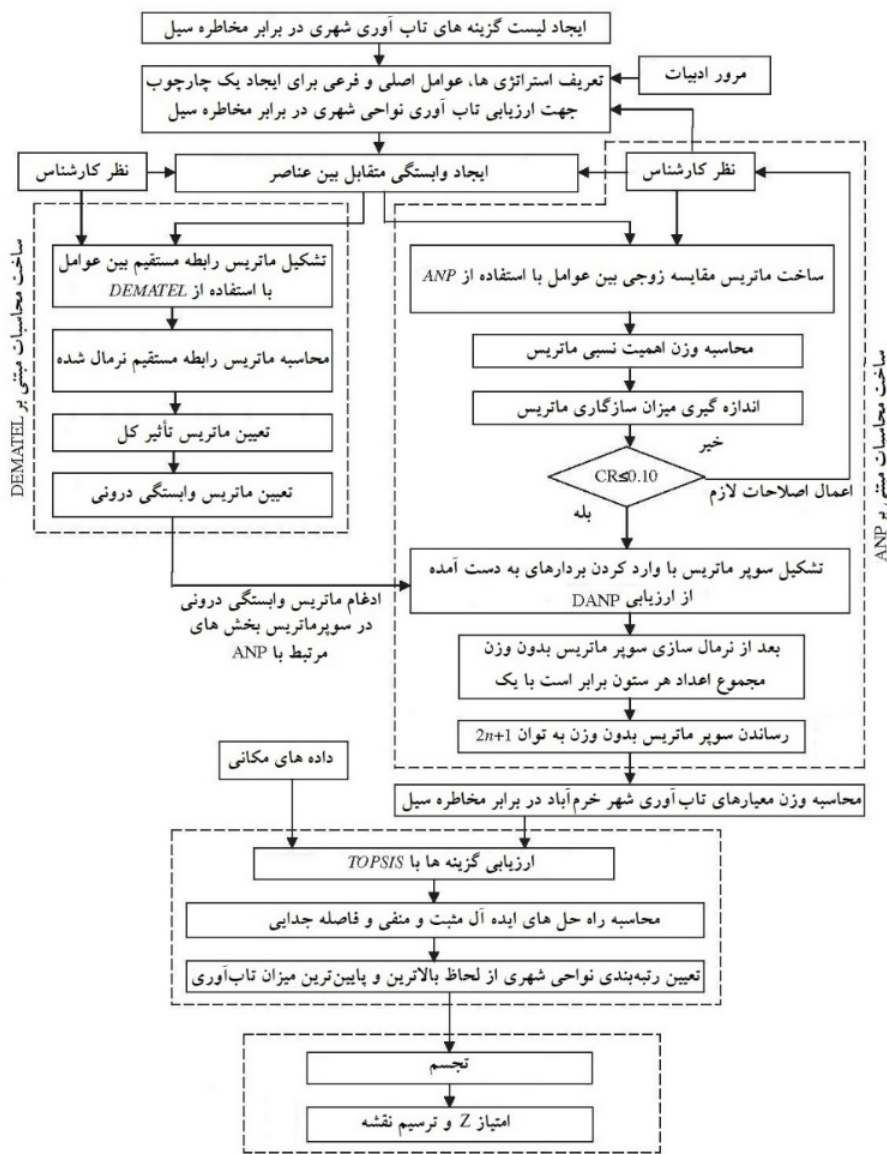
ماتریس تصمیم‌گیری وزنی با ضرب هر عنصر از هر ستون از ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده در وزن‌های به‌دست‌آمده از روش DANP ساخته شد (رابطه شماره ۱۳) که در W_j آن وزن معیار زاست،

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1$$

$$V = v_{ij} = w_{ij} r_{ij} \text{ for } (i = 1, \dots, m); (j = 1, \dots, n)$$

طریق معادله رابطه شماره ۱۲، ابعاد مختلف ویژگی را به ویژگی‌های غیر بعدی تبدیل می‌کند. ماتریس تصمیم نرمال شده امکان مقایسه بین شاخص‌ها با واحدهای مختلف را فراهم می‌کند.

$$MDM = r_{ij} \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}}$$



تصویر شماره ۱: نمودار شماتیک روش ترکیبی MCDM

وزنی از طریق معادلات زیر تعریف می‌شوند (رابطه شماره ۱۴) که در آن J با شاخص‌های سودمند و J' با شاخص‌های غیرسودمند مرتبط است.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}, \text{ where: } V_j^+ (\max_i (v_{ij}) \text{ if } j \in J), (\min_i v_{ij} \text{ if } j \in J')$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}, \text{ where: } V_j^- (\min_i (v_{ij}) \text{ if } j \in J), (\max_i v_{ij} \text{ if } j \in J')$$

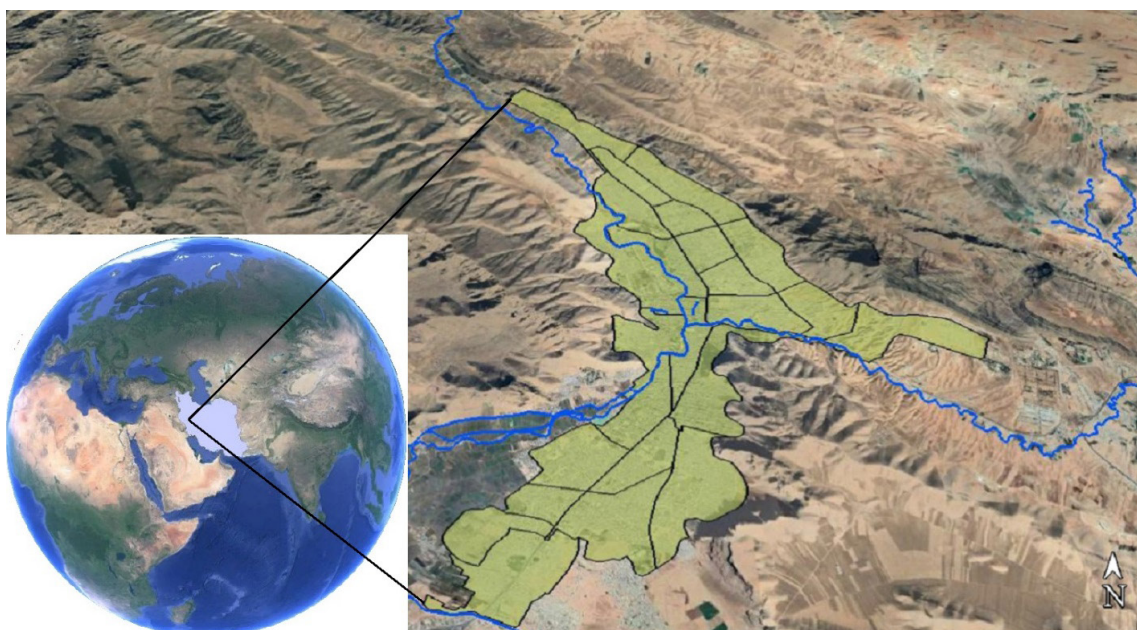
مرحله ۳: تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی، راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) با توجه به ماتریس تصمیم‌گیری

1 Normalized Decision Matrix (NDM)

شش نقشه حوزه تاب‌آوری و همچنین نقشه نهایی شاخص تاب‌آوری در بلایا تهیه شد.

۳.۴. محدوده مورد مطالعه

شهر خرم‌آباد مرکز استان لرستان در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است. خرم‌آباد شهری کوهستانی - دره‌ای است که شهر در دو طرف بستر رودخانه خرم رود که شمالی - جنوبی است و شهر را به دو قسمت نابرابر شرقی - غربی تقسیم می‌کند، ساخته شده است. قسمت شمالی شهر منظره‌ای کوهستانی و ناهموار و جنوب آن چشم‌اندازی تقریباً جلگه‌ای دارد. شکل‌گیری کالبد شهر خرم‌آباد متأثر از طبیعت آن است. هرکجا دره اندکی باز شده و شیب‌های کناری ملایم‌تر گشته و اجازه زیست به انسان داده، شهر بدان سو گسترش یافته و هرکجا دره تنگ‌تر شده، شهر باریک و کشیده شده است. بنابراین گسترش شهر به تبع دره‌ها و دشت‌های پایکوهی در قطاع‌های مختلفی توسعه یافته است (Afzali, et al., 2021: 39-40; Abdali, et al., 2022: 8-9). این شهر یکی از شهرهای دره‌ای شکل منحصربه‌فرد در ایران است که در رودخانه پر آب از میان این شهر عبور می‌کنند که در صورت وقوع سیلاب، شهر دچار اختلالات گسترده‌ای می‌شود و به‌نوعی تمامی فعالیت‌های شهر فلج می‌گردد. علاوه بر این، این شهر توسط کوه‌های اطرافش احاطه گردیده و رواناب‌های حاصل از کوه‌ها به درون شهر جاری می‌شوند و این عامل قدرت تخریبی سیل را در شهر خرم‌آباد دوچندان می‌کند (Abdali, et al., 2022: 9; Abdali, et al., 2023: 160). بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ شهرستان خرم‌آباد یک میلیون و ۷۶۰ هزار و ۶۴۹ نفر و شهر خرم‌آباد ۵۰۶ هزار و ۴۷۱ نفر جمعیت دارد (Statistical Centre of Iran, 2016; Abdali, et al., 2023: 160).



تصویر شماره ۲: نواحی ۲۴ گانه شهر خرم‌آباد و موقعیت رودخانه‌های اصلی

مرحله ۴: محاسبه فاصله جدایی هر ناحیه از راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل غیرایده‌آل، این مرحله به کمک مرحله چهارم فاصله اقلیدسی هر یک از گزینه‌ها، از جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی هر شاخص مسئله محاسبه می‌گردد. جداسازی هر جایگزین از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی از طریق معادلات زیر محاسبه می‌شوند (رابطه شماره ۱۵).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^+ - v_{ij}^+)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^- - v_{ij}^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

مرحله ۵: محاسبه نزدیکی نسبی هر منطقه شهری به راه‌حل ایده‌آل مثبت، که به معنای بالاترین سطح تاب‌آوری در برابر سیل است (رابطه شماره ۱۶).

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad 0 \leq C_i \leq 1$$

مرحله ۶: رتبه‌بندی ترتیب اولویت‌ها، مقدار بالاتر C_i نشان‌دهنده ناحیه تاب‌آور بالاتر است. به این ترتیب، ۲۴ ناحیه شهری با هم مقایسه و براساس آن مرتب شدند.

۳.۳. تجسم و ترسیم نقشه

گام بعدی پس از ساخت شاخص‌های ترکیبی تاب‌آوری سیل، تجسم نتایج است. قبل از تجسم، نمرات شش بعد و شاخص کلی تاب‌آوری در برابر بلایا در پنج خوشه اصلی با استفاده از روش Z-score برای شناسایی الگوهای فضایی تاب‌آوری سیل طبقه‌بندی شدند. این روش نمرات را به انحراف استاندارد از میانگین تبدیل می‌کند. سپس

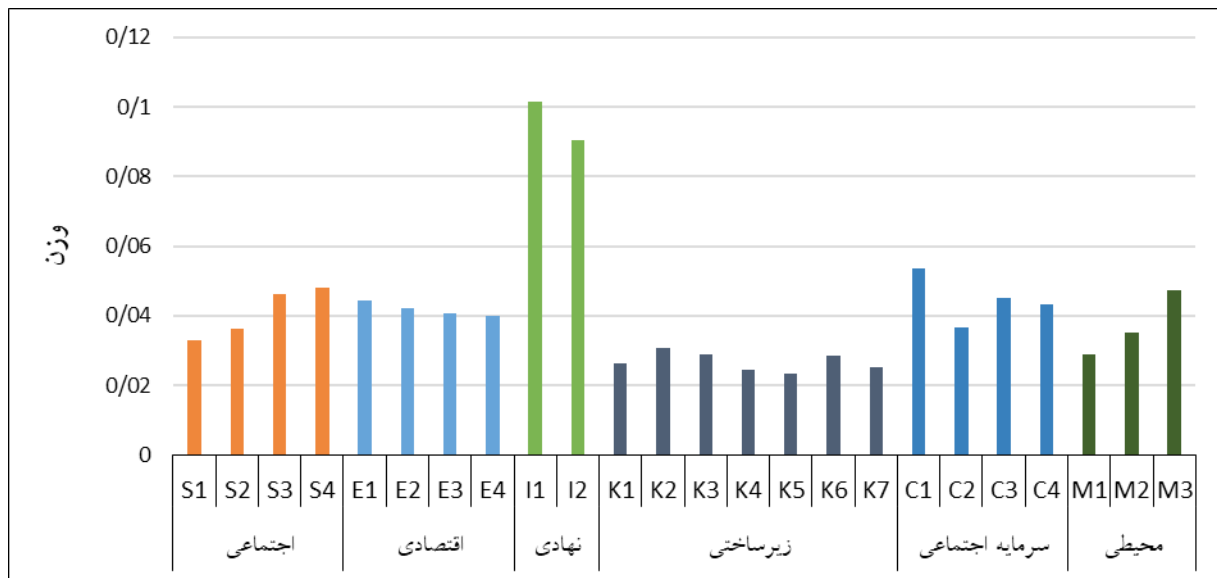
۴. نتایج و بحث

۴.۱. استفاده از روش ترکیبی DANP-TOPSIS برای وزن دهی به شاخص‌ها و رتبه‌بندی نواحی شهری

شاخص‌ها و رتبه‌بندی نواحی شهری

در مرحله نخست، روش DANP برای به دست آوردن نظرات کارشناسان در مورد اهمیت نسبی شاخص‌های فردی برای تاب‌آوری سیل انجام شد. ما کارشناسانی را انتخاب کردیم که دانش عمیقی از مدیریت ریسک سیل در شهر خرم‌آباد داشتند تا بتوانیم بر اساس نظر کارشناسی، وزن دهی انجام دهیم. پس از آن، میانگین وزن‌های داده شده توسط دوازده خبره را به عنوان وزن نهایی هر شاخص محاسبه کردیم. همان‌طور که نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد، شاخص‌های ابعاد نهادی و سرمایه اجتماعی بیشترین اهمیت را دارند. این نشان‌دهنده میزان مشارکت این دو بعد در تاب‌آوری نواحی در برابر سیل است. بیشترین اوزان مربوط به چهار شاخص فرآیند نهادی، ویژگی‌های فیزیکی نهادها، تعلق مکانی و عدالت آموزشی است. در مقابل، کمترین اوزان مربوط به چهار شاخص نوع استحکام مسکن، بافت فرسوده، پتانسیل دسترسی و پتانسیل مرمت مدارس است.

در مرحله دوم، پس از تعیین وزن‌های جداگانه هر شاخص، از تکنیک TOPSIS برای ارزیابی مقایسه‌ای سطح تاب‌آوری نواحی استفاده شد. از آنجایی که TOPSIS بر اساس فاصله است، فرض بر این است که یک راه‌حل ایده‌آل و غیر ایده‌آل وجود دارد. بنابراین ناحیه‌ای با بالاترین سطح تاب‌آوری، کمترین فاصله را تا راه‌حل ایده‌آل مثبت (S^+) و دورترین فاصله را تا راه‌حل منفی ایده‌آل (S^-) دارد. نمودار شماره ۲ فاصله هر ناحیه از S^+ و S^- را در شش بعد تاب‌آوری و همچنین تاب‌آوری کلی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، ناحیه ۲۳ و ۱ بیشترین فاصله را از S^- و کمترین فاصله را از S^+ در تاب‌آوری اجتماعی دارند. یعنی این دو ناحیه بالاترین سطح تاب‌آوری اجتماعی را دارند. برعکس در تاب‌آوری محیطی، ناحیه ۴ بیشترین فاصله را از S^+ و کوتاه‌ترین فاصله را از S^- دارد که باعث می‌شود کمترین تاب‌آوری را در این بعد داشته باشد. به همین ترتیب، در تاب‌آوری کلی در برابر سیل، تفکیک هر ناحیه از راه‌حل‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل را می‌توان در نمودار شماره ۲ مشاهده کرد. به این ترتیب ناحیه ۱ و ناحیه ۲۳ به عنوان کمترین و بیشترین تاب‌آوری نواحی قابل تشخیص هستند.



نمودار شماره ۱: وزن شاخص‌های منفرد نهایی به دست آمده از DANP

محاسبه شد. جدول شماره ۳ نتایج نهایی به دست آمده از فرآیند ترکیبی DANP-TOPSIS را برای شش بعد تاب‌آوری نشان می‌دهد.

در نهایت نزدیکی نسبی (C_i) به راه‌حل ایده‌آل مثبت برای نشان دادن نمرات نهایی نواحی شهری و رتبه‌بندی آنها بر اساس سطح تاب‌آوری

جدول شماره ۳: امتیازات تاب‌آوری و رتبه‌بندی نواحی در شش بعد تاب‌آوری

رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه
رتبه	تاب‌آوری محیطی	رتبه	تاب‌آوری سرمایه اجتماعی	رتبه	تاب‌آوری زیرساختی	رتبه	تاب‌آوری نهادی	رتبه	تاب‌آوری اقتصادی	رتبه	تاب‌آوری اجتماعی	رتبه
۱۴	۰/۰۳۸۱	۲۴	۰/۰۰۰۶	۹	۰/۰۴۷۳	۹	۰/۰۴۱۴	۶	۰/۰۵۵۶	۲	۰/۰۷۰۰	۱
۱۲	۰/۰۳۹۴	۱۸	۰/۰۱۹۷	۱۴	۰/۰۳۰۲	۱۲	۰/۰۴۱۴	۱۱	۰/۰۴۵۴	۷	۰/۰۵۰۴	۲
۲۰	۰/۰۲۴۴	۱۹	۰/۰۱۷۰	۷	۰/۰۵۱۸	۴	۰/۰۴۹۳	۳	۰/۰۶۰۵	۱۳	۰/۰۳۲۳	۳
۲۴	۰/۰۰۱۶	۴	۰/۰۳۳۰۴	۲۰	۰/۰۲۲۸	۲	۰/۰۷۳۶	۱۶	۰/۰۳۲۶	۲۲	۰/۰۱۳۸	۴
۱	۰/۰۱۶۸۷	۲	۰/۰۱۰۳۸	۲۴	۰/۰۰۰۲	۱	۰/۰۸۴۵	۱۸	۰/۰۳۰۳	۱۹	۰/۰۲۲۴	۵
۲۱	۰/۰۲۱۰	۱۰	۰/۰۳۶۹	۶	۰/۰۵۵۵	۶	۰/۰۴۶۴	۱۲	۰/۰۴۵۴	۱۷	۰/۰۲۶۵	۶
۲۲	۰/۰۱۴۱	۱۳	۰/۰۲۸۸	۱۳	۰/۰۳۳۶	۳	۰/۰۵۳۳	۲۱	۰/۰۲۷۰	۲۴	۰/۰۱۱۸	۷
۱۹	۰/۰۲۷۶	۸	۰/۰۳۸۳	۱۵	۰/۰۳۰۱	۱۷	۰/۰۳۴۶	۱۷	۰/۰۳۲۶	۲۱	۰/۰۱۹۶	۸
۴	۰/۰۵۲۰	۶	۰/۰۴۱۱	۸	۰/۰۵۱۶	۱۳	۰/۰۴۱۴	۵	۰/۰۵۶۰	۱۰	۰/۰۴۲۸	۹

← ادامه جدول شماره ۳: امتیازات تاب آوری و رتبه بندی نواحی در شش بعد تاب آوری

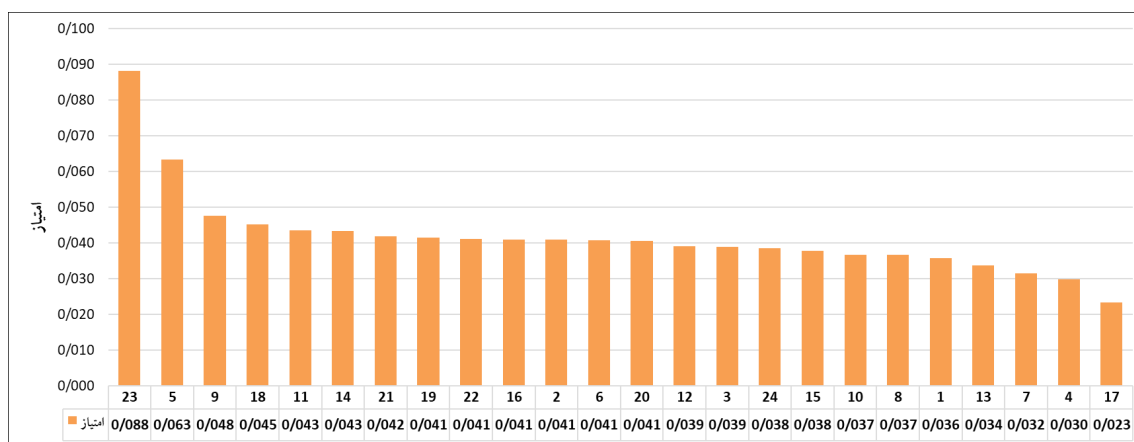
رتبه	تاب آوری محیطی	رتبه	تاب آوری سرمایه اجتماعی	رتبه	تاب آوری زیرساختی	رتبه	تاب آوری نهادی	رتبه	تاب آوری اقتصادی	رتبه	تاب آوری اجتماعی	رتبه
۱۵	۰/۰۳۳۶	۹	۰/۰۳۷۶	۱۱	۰/۰۴۰۱	۱۰	۰/۰۴۱۴	۱۹	۰/۰۲۹۵	۱۲	۰/۰۳۲۵	۱۰
۸	۰/۰۴۲۰	۱۴	۰/۰۲۷۷	۴	۰/۰۶۵۹	۲۲	۰/۰۲۵۸	۱۰	۰/۰۵۰۰	۹	۰/۰۴۴۷	۱۱
۱۶	۰/۰۳۳۰	۱۷	۰/۰۲۱۵	۱۰	۰/۰۴۶۵	۱۹	۰/۰۳۲۲	۸	۰/۰۵۱۱	۶	۰/۰۵۷۸	۱۲
۱۸	۰/۰۳۱۹	۱۱	۰/۰۳۱۱	۲۱	۰/۰۲۱۴	۸	۰/۰۴۱۹	۱۴	۰/۰۳۸۰	۱۸	۰/۰۲۲۸	۱۳
۹	۰/۰۴۱۲	۲۱	۰/۰۱۴۴	۵	۰/۰۶۰۷	۵	۰/۰۴۸۲	۱	۰/۰۶۳۲	۳	۰/۰۶۸۶	۱۴
۱۷	۰/۰۳۲۳	۱۵	۰/۰۲۵۹	۳	۰/۰۶۶۹	۲۰	۰/۰۳۰۰	۴	۰/۰۵۷۴	۴	۰/۰۶۶۸	۱۵
۶	۰/۰۵۱۲	۲۲	۰/۰۱۳۹	۲	۰/۰۸۸۶	۱۴	۰/۰۴۱۴	۲	۰/۰۶۱۴	۸	۰/۰۴۷۰	۱۶
۲۳	۰/۰۱۰۵	۳	۰/۰۴۶۳	۱۷	۰/۰۲۴۸	۲۴	۰/۰۲۲۰	۲۴	۰/۰۱۴۰	۲۳	۰/۰۱۲۵	۱۷
۵	۰/۰۵۱۲	۷	۰/۰۳۸۳	۲۲	۰/۰۱۵۳	۲۳	۰/۰۲۵۶	۲۲	۰/۰۲۵۹	۲۰	۰/۰۲۰۷	۱۸
۱۱	۰/۰۳۹۹	۵	۰/۰۴۱۴	۲۳	۰/۰۱۳۸	۲۱	۰/۰۲۶۰	۲۰	۰/۰۲۸۷	۱۶	۰/۰۲۷۰	۱۹
۱۳	۰/۰۳۹۰	۱۶	۰/۰۲۵۱	۱۲	۰/۰۳۴۰	۷	۰/۰۴۲۱	۱۵	۰/۰۳۷۳	۱۱	۰/۰۴۱۵	۲۰
۷	۰/۰۵۰۸	۲۰	۰/۰۱۵۳	۱۶	۰/۰۲۹۵	۱۱	۰/۰۴۱۴	۷	۰/۰۵۲۲	۵	۰/۰۶۰۵	۲۱
۲	۰/۰۵۹۷	۲۳	۰/۰۱۲۳	۱۸	۰/۰۲۴۳	۱۵	۰/۰۴۱۳	۱۳	۰/۰۳۹۰	۱۴	۰/۰۲۷۷	۲۲
۳	۰/۰۵۵۸	۱	۰/۰۲۸۹۶	۱	۰/۱۲۱۵	۱۶	۰/۰۴۱۳	۹	۰/۰۵۰۶	۱	۰/۱۵۳۱	۲۳
۱۰	۰/۰۴۰۸	۱۲	۰/۰۲۹۹	۱۹	۰/۰۲۳۷	۱۸	۰/۰۳۳۸	۲۳	۰/۰۱۶۲	۱۵	۰/۰۲۷۱	۲۴



نمودار شماره ۲: تفکیک هر ناحیه شهری از راه حل های ایده آل مثبت و منفی

کرده و مؤسسات با موفقیت، خود را با فشارهای خارجی تطبیق دادند. با کمال تعجب، ناحیه ۱۷ به عنوان فقیرترین ناحیه از نظر تاب‌آوری در برابر سیل رتبه‌بندی شده است. اگرچه از تاب‌آوری سرمایه اجتماعی بالایی برخوردار است، اما این نتیجه پیامد ویژگی‌های محیطی و نهادی است. در ناحیه ۱۷ نسبت مساحت ساخته شده به مساحت ساخته نشده بسیار زیاد است و در نتیجه سطوح وسیع و غیرقابل نفوذ ایجاد می‌شود. بنابراین در صورت وقوع سیل، رواناب جذب سطحی نمی‌شود و جریان آب تشدید می‌شود. برای تشدید این موضوع، یکی از رودخانه‌های اصلی شهر خرم‌آباد در این ناحیه قرار دارد که در نتیجه بیشتر در معرض سیلاب قرار می‌گیرد. نتایج در بخش بعدی به منظور مشاهده الگوی جغرافیایی تاب‌آوری سیل در خرم‌آباد به تصویر کشیده شده است.

نمودار شماره ۳ رتبه‌بندی تاب‌آوری نواحی شهر خرم‌آباد در برابر سیل را به ترتیب نزولی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نواحی ۲۳ و ۵ نسبتاً تاب‌آورترین نواحی در منطقه مورد مطالعه هستند. طبق جدول شماره ۳، ناحیه ۲۳ در همه ابعاد به جز بعد نهادی رتبه خوبی دارد. این امر به دلیل سطح بالای برابری تحصیلی، درصد بالای جمعیت مستقل، دسترسی به امکانات تفریحی عمومی، نرخ اشتغال، مؤسسات تجاری و زیرساخت‌ها، دسترسی به خدمات اورژانس و مراقبت‌های پزشکی و درصد پایین بافت فرسوده است. عوامل اشتقاقی اساسی که به این نتیجه برای ناحیه ۲۳ کمک می‌کنند، ویژگی‌های نهادی، زیرساختی و اجتماعی هستند. به عنوان مثال، از آنجایی که این ناحیه دارای آخرین برنامه‌ریزی توسعه شهری است، زیرساخت‌ها به گونه‌ای مقاوم‌تر برنامه‌ریزی شده و کفایت زیرساختی در این بخش از شهر وجود دارد. علاوه بر این جمعیت پایدارتر است. زیرا از رونق ساخت‌وساز اجتناب



نمودار شماره ۳: امتیازات شاخص تاب‌آوری در برابر سیل برای ۲۴ ناحیه شهری خرم‌آباد و رتبه‌بندی آنها

با تمرکز بر طراحی دستورالعمل‌هایی برای دسترسی عادلانه به منابع حیاتی و همچنین افزایش ظرفیت‌های جمعیت برای کاهش بلایا و انطباق با آنها تأکید می‌کند. در مؤلفه تاب‌آوری اقتصادی، مرکز اقتصادی شهر به شکل شکفت‌آوری از تاب‌آوری پایین‌تری برخوردار است. این به دلیل تمرکز بافت فرسوده و سکونت قشر پایین جامعه در پیرامون مرکز اقتصادی است. بعد نهادی نشان می‌دهد که نواحی مرکزی دارای تاب‌آوری بالایی هستند. با این حال، بخش مرکز اقتصادی شهر به طور مشخص در وضعیت بهتری قرار دارد. زیرا این نواحی مرکز تمرکز نهادها و سازمان‌های مردم‌نهاد، دولتی و خصوصی هستند، بنابراین نهادها در مرکز اقتصادی شهر باید خود را سازگار نمایند. همان‌طور که گفته می‌شود، نواحی حاشیه‌ای از امکانات زیرساختی مناسبی برخوردار نیستند و این مورد نیز در شهر خرم‌آباد صدق می‌کند. بنابراین اکثر نواحی حاشیه‌ای دارای سطح پایینی از تاب‌آوری زیرساختی به عنوان یکی از عوامل مهم در تاب‌آوری شهر هستند. از این رو، این نتیجه نیاز به افزایش زیرساخت‌های فیزیکی در نواحی حاشیه‌ای و اسکان غیررسمی شهر را آشکار می‌کند. در مقابل تاب‌آوری اجتماعی، هیچ الگوی فضایی مشخصی در تاب‌آوری سرمایه اجتماعی وجود ندارد. علاوه بر این، اکثر نواحی در این بعد از تاب‌آوری متوسط تا کم طبقه‌بندی می‌شوند که توضیح می‌دهد که ارتباط بین افراد و محله‌شان ضعیف است.

۴.۲. ترسیم نقشه نمرات شاخص تاب‌آوری در برابر بلایا

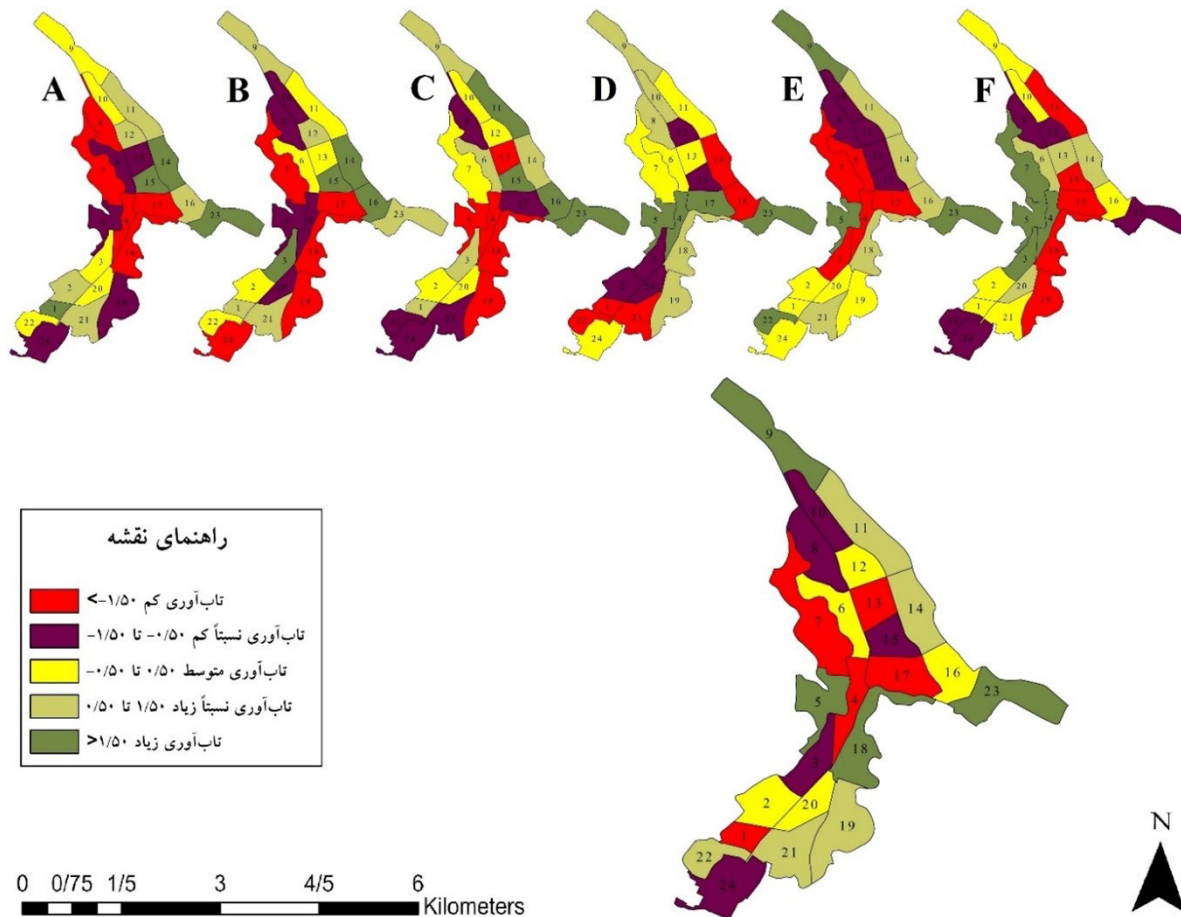
در این بخش، نتایج به دست آمده به منظور درک بهتر سطوح مقایسه‌ای تاب‌آوری در ابعاد شش‌گانه تاب‌آوری در برابر سیل و همچنین توزیع فضایی شاخص تاب‌آوری بلایا برای ۲۴ ناحیه شهری خرم‌آباد ترسیم شد. برای انجام این کار، از انحراف معیار از میانگین (نمرات Z) برای طبقه‌بندی سطح تاب‌آوری نواحی زیر پنج کلاس استفاده شد. نواحی با امتیاز بیشتر از ۱/۵ به عنوان تاب‌آوری بالا در نظر گرفته شد و به رنگ سبز سرخسی ترسیم شد. به طور مشابه، نواحی با امتیاز بین ۰/۵ تا ۱/۵ به عنوان تاب‌آوری نسبتاً بالا (زیتونی روشن)، بین ۰/۵- تا ۰/۵+ به عنوان تاب‌آوری متوسط (زرد خورشیدی)، بین ۱/۵- تا ۰/۵- به عنوان تاب‌آوری نسبتاً کم (قرمز توسکایی) و در نهایت، نواحی با امتیاز کمتر از ۱/۵- به عنوان تاب‌آوری کم (قرمز مریخی) طبقه‌بندی شدند.

مطابق تصویر شماره ۳، تاب‌آوری اجتماعی دارای یک الگوی فضایی آشکار است که در آن سطح تاب‌آوری به تدریج از نواحی بالای شهر به قسمت پایین شهر کاهش یافته است. توضیح احتمالی برای این موضوع می‌تواند کیفیت بالاتر زندگی در نواحی بالای شهر باشد که نواحی مرفه‌تر خرم‌آباد هستند. این امر نشان می‌دهد که شهر بار توزیع ناعادلانه امکانات و خدمات اولیه شهری را به دوش می‌کشد. همچنین بر نیاز شدید به پذیرش اصول فرآیند توسعه عادلانه و رفاه اجتماعی

نواحی ۴ و ۱۷ و تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی در ناحیه ۱ دارای تاب‌آوری متوسط و کم هستند. از سوی دیگر، ناحیه ۲۳ و ناحیه ۱۴ در تاب‌آوری سیل در رتبه بالایی قرار دارند. همه مؤلفه‌های فرعی تاب‌آوری در هر دو ناحیه بالا و نسبتاً بالا هستند، به استثنای تاب‌آوری نهادی برای ناحیه ۲۳ و تاب‌آوری سرمایه اجتماعی برای ناحیه ۱۴ که از سطح پایینی قرار دارند. با توجه به الگوی فضایی تاب‌آوری سیل، ۱۰ ناحیه به عنوان تاب‌آوری نسبتاً کم و متوسط و تنها ۵ ناحیه به عنوان تاب‌آوری نسبتاً بالا دسته‌بندی می‌شوند. نتایج به دست آمده نمای کلی بهتری از سطوح تاب‌آوری در مقیاس شهر ارائه می‌دهد و مواردی را که مداخلات بیشتر مورد نیاز است را برجسته می‌کند.

تاب‌آوری محیطی نشان می‌دهد که نواحی که در مرکز شهر واقع‌اند، بیشتر مستعد سیل هستند، در حالی که تاب‌آوری محیطی بالا و نسبتاً بالا در قسمت‌های مختلف شهر یافت می‌شود. این امر می‌تواند به موقعیت رودخانه‌ها در داخل شهر و همچنین میزان مساحت زمین نفوذپذیر و نفوذناپذیر مربوط باشد.

در نهایت بررسی مقایسه‌ای تاب‌آوری در برابر سیل در شهر خرم‌آباد نشان می‌دهد که نواحی ۱، ۴، ۷، ۱۳ و ۱۷ نواحی هستند که کمترین سطح تاب‌آوری را دارند. در این نواحی تمامی ابعاد تاب‌آوری به جز تاب‌آوری نهادی در نواحی ۴، ۷ و ۱۳ و تاب‌آوری سرمایه اجتماعی در



تصویر شماره ۳: شاخص تاب‌آوری در برابر سیل برای ۲۴ ناحیه شهری خرم‌آباد به همراه ابعاد شش‌گانه (A تاب‌آوری اجتماعی، B تاب‌آوری اقتصادی، C تاب‌آوری نهادی، D تاب‌آوری زیرساختی، E تاب‌آوری سرمایه اجتماعی، F تاب‌آوری محیطی)

اساسی تشکیل شده است. با استفاده از شاخص‌های تاب‌آوری پایه برای جامعه، مجموعه‌ای از ۲۴ شاخص را به منظور کمی کردن مفهوم چندوجهی تاب‌آوری در برابر سیل شهری که شامل شش بعد اساسی است، شناسایی کردیم. در حالی که روش توسعه یافته یک دستورالعمل روشن برای عملیاتی کردن مفهوم تاب‌آوری ارائه می‌دهد، بر وزن دهی شاخص‌های فردی و رتبه‌بندی تاب‌آوری با استفاده از روش ترکیبی DANP-TOPSIS تأکید می‌کند. این رویکرد ترکیبی ابزاری برای ادغام ارزیابی کیفی در تجزیه و تحلیل کمیته‌ها فراهم می‌کند. در توسعه یک ارزیابی مبتنی بر مکان از تاب‌آوری در برابر بلایا، هر شاخص تأثیر

۵. نتایج
اندازه‌گیری تاب‌آوری شهری می‌تواند به توسعه راهبردها و سیاست‌های مناسب برای شهرهایی که با شوک‌های غیرمنتظره و پیامدهای آن روبه‌رو هستند، کمک کند. اندازه‌گیری تاب‌آوری در برابر بلایای شهری برای خرم‌آباد به دلیل ویژگی‌های ذاتی آن و تغییرات مکانی - زمانی سیلاب‌ها در منطقه حائز اهمیت است. علاوه بر این در غیاب مطالعات سیل محور، این مطالعه با هدف افزایش درک ما از عوامل و فرآیندهای تاب‌آوری در برابر سیل شهری در شهر خرم‌آباد انجام شد. برای انجام این کار، یک شاخص ترکیبی ایجاد کردیم که از پنج مرحله

باین حال روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به جلب نظر کارشناسان کمک می‌کند و ذی نفعان با پیشینه‌های مختلف را درگیر می‌کند. برای انجام چنین مطالعاتی برای بررسی پایداری نتایج و افزایش اعتبار تصمیم‌ها، نیاز به تحلیل حساسیت است. این تحلیل را می‌توان برای تحقیقات آتی انجام داد. در نهایت از آنجایی که اعتبارسنجی مطالعات تاب‌آوری در برابر بلایا اغلب به دلیل عدم وجود اطلاعات در مورد اثرات ثبت شده بلایای طبیعی گذشته مشکل ساز است، اعتبارسنجی بر اساس پیامدهای واقعی سیل در خرم‌آباد امکان‌پذیر نبود. علاوه بر این جدول زمانی مطالعه نقش مهمی برای اعتبارسنجی قوی ایفا می‌کند؛ زیرا تغییرات قابل توجهی به طور خاص در کاربری‌ها و پوشش‌های زمین در بین دو تاریخ مطالعه و داده‌های واقعی ثبت شده یا حتی مطالعه دیگری وجود دارد.

باین حال توسعه شاخص‌های ترکیبی و اندازه‌گیری تاب‌آوری با چالش‌هایی در این مطالعه همراه بود. مهم‌ترین آنها به دسترسی و کیفیت داده‌ها به طور عام و به طور خاص برای بعد نهادی اشاره دارد. چالش دیگر عدم وجود یک رویکرد سیستماتیک برای مستندسازی اثرات نامطلوب ناشی از حوادث سیل و همچنین فقدان مطالعات سیل محور در خرم‌آباد بود.

به طور خلاصه سنجش تاب‌آوری مبتنی بر شاخص برای افزایش درک ما از آنچه که به تاب‌آوری سیل در خرم‌آباد کمک می‌کند، انجام می‌شود. این به طرح نواحی کمک می‌کند که نیاز به مداخله بیشتری از نظر برنامه‌ریزی و مدیریت شهری مبتنی بر خطر بلایا دارند. در واقع این امر می‌تواند تصمیم‌گیرندگان را راهنمایی کند که پروژه‌هایی را که جوامع تاب‌آور را پیش می‌برند، اولویت بندی کنند. باین حال این سؤال که آیا چنین اندازه‌گیری‌هایی می‌توانند به اندازه کافی نیازهای جاری یا در حال ظهور ذی نفعان محلی و متخصصان برنامه‌ریزی را برطرف کنند، نیاز به تمرکز بر اندازه‌گیری‌های مشارکتی و پایین به بالا برای دستیابی به چشم‌انداز مشترک و مأموریت‌های مشترک برجسته می‌کند.

References:

- Abdali, Y., Hataminejad, H., Zanganeh Shahraki, S., Pourahmad, A., & Salmani, M. (2023). Providing future scenarios of urban resilience against flood hazard (Case study: Khorramabad city). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 4(16), 153-174. doi: 10.5254/gasma.4.4.153 [in Persian]
- Abdali, Y., Hataminejad, H., Zanganeh Shahraki, S., Pourahmad, A., & Salmani, M. (2022). Analysis of Urban Resilience Indicators against Flood Risk with a Futuristic Approach (A Case Study of Khorramabad). *Journal of Iran Futures Studies*, 7(1), 1-26. doi: 10.30479/jfs.2022.16142.1327 [in Persian]
- Afzali, M., Abdali, Y., & Heydari, A. (2021). Physical-Spatial Analysis of Khorramabad City Using Urban Intelligence Growth Indices. *Research and Urban Planning*, 11(43), 35-50. Doi: 20.1001.1.22285229.1399.11.43.3.6 [in Persian]

متفاوتی بر سطح تاب‌آوری دارد. از آنجایی که دانش قابل توجهی در مورد اهمیت نسبی شاخص‌ها وجود دارد، یک رویکرد دانش محور برای تعیین اهمیت نابرابر بین آنها انجام شد. به طوری که نخست استفاده از تکنیک DANP ما را مستعد کرد تا دانش متخصصان داخلی را در تجزیه و تحلیل ادغام کنیم و پس از ترکیب قضاوت کارشناسان، مبادلات بین شاخص‌ها را به دست آوریم. دوم در غیاب یک استاندارد مطلق برای اندازه‌گیری سطح تاب‌آوری، TOPSIS فرض می‌کند که ناحیه شهری ایده‌آل بهترین سطح را برای همه ویژگی‌ها دارد. به عبارت دیگر، هدف این تکنیک رتبه‌بندی نسبی نواحی شهری بر اساس کوتاه‌ترین فاصله تا راه حل ایده‌آل و دورترین فاصله تا راه حل غیر ایده‌آل است.

ترسیم نقشه نتایج به دست آمده، الگوهای فضایی متمایز محرک‌های تاب‌آوری را نشان می‌دهد و نقاط داغ تاب‌آوری در برابر سیل را در منطقه مورد مطالعه شناسایی می‌کند که نیاز به مداخلات بیشتری دارند. به عنوان مثال، نواحی مرکزی و غربی تاب‌آوری و مقاومت کمتری دارند، بنابراین نیاز به توجه بیشتری دارند. عوامل اساسی عمدتاً ویژگی‌های محیطی و زیرساختی هستند که مستقیماً با کاربری اراضی و برنامه‌ریزی زیرساختی مرتبط هستند. در این زمینه یافته‌ها می‌تواند به سازمان‌های برنامه‌ریزی شهری شهر خرم‌آباد کمک کند تا تاب‌آوری در برابر بلایا را در برنامه‌ریزی شهری ادغام کنند و از برنامه‌های واکنشی به راهبردهای انطباقی شهری پیشگیرانه مانند برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری حساس به ریسک تبدیل شوند. این یافته‌ها همچنین به شناسایی نقاط داغ احتمالی شهر که می‌توانند توسط نهادهای مدیریت اضطراری مانند سازمان کاهش بلایا برای مدیریت مؤثر ریسک بلایا در نظر گرفته شوند، کمک می‌کند. در بین نقشه‌های ابعاد تاب‌آوری، تاب‌آوری اجتماعی از الگوی متمایزی برخوردار است. کاهش تدریجی سطح تاب‌آوری اجتماعی از نواحی مرفه بالای شهر به نواحی پایین شهر را نشان می‌دهد. تاب‌آوری اجتماعی یک ضرورت اساسی در ایجاد ظرفیت برای جوامع و افراد برای آماده شدن، پاسخگویی، بهبودی و سازگاری با اثرات تغییرات آب و هوایی است. بنابراین ذی نفعان محلی می‌توانند به منظور ارتقای فرآیند توسعه عادلانه و دسترسی عادلانه به منابع حیاتی شهری، این موضوع را در نظر بگیرند.

۶. محدودیت‌ها و تحقیقات آتی

نخست اگرچه ساختن شاخص ترکیبی اغلب برای عملیاتی کردن مفهوم تاب‌آوری در برابر بلایای اجتماعی در ادبیات موجود استفاده شده، در دسترس بودن داده‌ها و دسترسی به شاخص‌های منحصر به فرد شناسایی شده یک محدودیت رایج در این رویکرد است. در نتیجه برخی از متغیرها به دلیل در دسترس نبودن یا غیرقابل دسترس بودن باید حذف شوند و این ممکن است نتایج به دست آمده از مطالعه را تحت تأثیر قرار دهد؛ به عنوان مثال در این مطالعه، تاب‌آوری نهادی که نقش مهمی در مرحله آمادگی و برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری در بلایا دارد، با توجه به این محدودیت فقط با دو متغیر کمی سازی می‌شود. در مرحله بعد، تنها تعداد محدودی از متغیرها را می‌توان با استفاده از مقایسه زوجی در نظر گرفت، زیرا از نظر شناختی سخت است، اگرچه روشی آسان برای استخراج وزن معیار توسط متخصصان این مطالعه یافت شد. بنابراین این امر باید برای مطالعات آینده در نظر گرفته شود.

- Asadzadeh, A., Kötter, T., & Zebardast, E. (2015). An augmented approach for measurement of disaster resilience using connective factor analysis and analytic network process (F'ANP) model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 504-518. doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.10.002
- Asadzadeh, A., Kötter, T., Salehi, P., & Birkmann, J. (2017). Operationalizing a concept: The systematic review of composite indicator building for measuring community disaster resilience. *International journal of disaster risk reduction*, 25, 147-162. doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.09.015.
- Béné, C. (2013). Towards a quantifiable measure of resilience. *IDS Working Papers*, 2013(434), 1-27. doi.org/10.1111/j.2040-0209.2013.00434.x
- Burton, C. G. (2012). *The Development of Metrics for Community Resilience to Natural Disasters*. Diss. University of South Carolina. doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Burton, C. G. (2015). A validation of metrics for community resilience to natural hazards and disasters using the recovery from Hurricane Katrina as a case study. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 67-86. doi.org/10.1080/00045608.2014.960039
- Büyüközkan, G., & Güleriyüz, S. (2016). An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey. *International journal of production economics*, 182, 435-448. doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015
- Chen, F. H., Hsu, T. S., & Tzeng, G. H. (2011). A balanced scorecard approach to establish a performance evaluation and relationship model for hot spring hotels based on a hybrid MCDM model combining DEMATEL and ANP. *International Journal of Hospitality Management*, 30(4), 908-932. doi.org/10.1016/j.ijhm.2011.02.001
- Chen, J. K., & Chen, I. S. (2010). Using a novel conjunctive MCDM approach based on DEMATEL, fuzzy ANP, and TOPSIS as an innovation support system for Taiwanese higher education. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 1981-1990. doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.079
- Chiu, W. Y., Tzeng, G. H., & Li, H. L. (2013). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business. *Knowledge-Based Systems*, 37, 48-61. doi.org/10.1016/j.knosys.2012.06.017
- Cumming, G. S., Barnes, G., Perz, S., Schmink, M., Sieving, K. E., Southworth, J., ... & Van Holt, T. (2005). An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 8(8), 975-987. doi.org/10.1007/s10021-005-0129-z
- Cutter, S. L. (2016). The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Natural hazards*, 80(2), 741-758. doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2
- Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2014). The geographies of community disaster resilience. *Global environmental change*, 29, 65-77. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005
- Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2016). Urban-rural differences in disaster resilience. *Annals of the American Association of Geographers*, 106(6), 1236-1252. doi.org/10.1080/24694452.2016.1194740
- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), 598-606. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of homeland security and emergency management*, 7(1). doi.org/10.2202/1547-7355.1732
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16(3), 253-267. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002
- Frazier, T. G., Thompson, C. M., Dezzani, R. J., & Butsick, D. (2013). Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale. *Applied Geography*, 42, 95-107. doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.004
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature climate change*, 3(9), 802-806. doi.org/10.1038/nclimate1979
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 1-23. doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. *Engineering within ecological constraints*, 31(1996), 32.
- Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., & Yoon,

- K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191. doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2016). *World disasters report 2016–Resilience: Saving lives today, investing for tomorrow*.
 - Ju, Y., Wang, A., & You, T. (2015). Emergency alternative evaluation and selection based on ANP, DEMATEL, and TL-TOPSIS. *Natural Hazards*, 75(2), 347-379. doi.org/10.1007/s11069-014-1077-8
 - Kwak, Y., Deal, B., & Mosey, G. (2021). Landscape design toward urban resilience: Bridging science and physical design coupling sociohydrological modeling and design process. *Sustainability*, 13(9), 4666. doi.org/10.3390/su13094666
 - Masozera, M., Bailey, M., & Kerchner, C. (2007). Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case study of New Orleans. *Ecological economics*, 63(2-3), 299-306. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.06.013
 - Mayunga, J. S. (2009). *Measuring the measure: A multi-dimensional scale model to measure community disaster resilience in the US Gulf Coast region*. Texas A&M University.
 - Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International journal of disaster risk reduction*, 35, 101069. doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101069
 - Movahed, S., & Tabibian, M. (2020). Proposing a framework for city's ecological resilience pattern. *Motaleate Shahri*, 9(33), 109-126. doi: 10.34785/J011.2019.865 [in Persian]
 - Obrist, B., Pfeiffer, C., & Henley, R. (2010). Multi-layered social resilience: a new approach in mitigation research. *Progress in Development Studies*, 10(4), 283-293. doi.org/10.1177/146499340901000402
 - Pai, F. Y. (2014). Analyzing consumers' decisions to select micro-invasive aesthetic service providers using a hybrid method. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 8(6), 3071-3083. doi.org/10.12785/amis/080648
 - Pickett, S. T., Cadenasso, M. L., & Grove, J. M. (2004). Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and urban planning*, 69(4), 369-384. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035
 - PWC. (2013). *World in 2050. Long-Term Growth Projections*. PWC.
 - Renschler, C. S., Frazier, A. E., Arendt, L. A., Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M., & Bruneau, M. (2010). Developing the 'PEOPLES' resilience framework for defining and measuring disaster resilience at the community scale. In *Proceedings of the 9th US national and 10th Canadian conference on earthquake engineering* (pp. 25-29). Canada Toronto. doi. 10.13140/RG.2.1.1563.4323
 - Safiah Yusmah, M. Y., Bracken, L. J., Sahdan, Z., Norhaslina, H., Melasutra, M. D., Ghaffarianhoseini, A., ... & Shereen Farisha, A. S. (2020). Understanding urban flood vulnerability and resilience: a case study of Kuantan, Pahang, Malaysia. *Natural Hazards*, 101(2), 551-571. doi.org/10.1007/s11069-020-03885-1
 - Scherzer, S., Lujala, P., & Rød, J. K. (2019). A community resilience index for Norway: An adaptation of the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36, 101107. doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101107
 - Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological indicators*, 69, 629-647. doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.023
 - Singh-Peterson, L., Salmon, P., Goode, N., & Gallina, J. (2014). Translation and evaluation of the baseline resilience indicators for communities on the Sunshine Coast, Queensland Australia. *International journal of disaster risk reduction*, 10, 116-126. doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.07.004
 - Spett, E. J. (2021). *After the Flood: Exploring the Influence of Risk Perception and Decision Criteria Preference on Flood Mitigation in the Lake Champlain Richelieu River Basin*. The University of Vermont and State Agricultural College.
 - Statistical Centre of Iran. (2016). *Selected Findings of the 2016 National Population and Housing Census (NPHC)* [in Persian]
 - Sun, R., Shi, S., Rehehan, Y., & Li, S. (2022). Measurement of urban flood resilience using a quantitative model based on the correlation of vulnerability and resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82, 103344. doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103344
 - Thor, J., Ding, S. H., & Kamaruddin, S. (2013).

Comparison of multi criteria decision making methods from the maintenance alternative selection perspective. The International Journal of Engineering and Science, 2(6), 27-34.

- Weichselgartner, J., & Kelman, I. (2015). Geographies of resilience: Challenges and opportunities of a descriptive concept. Progress in human geography, 39(3), 249-267. doi.org/10.1177/0309132513518834
- Xu, Y. Y., Li, G., Cui, S. H., Xu, Y., Pan, J., Tong, N., & Zhu, Y. (2018). Review and perspective on resilience science: From ecological theory to urban practice. Acta Ecologica Sinica, 38(15), 5297-5304.

نحوه ارجاع به مقاله:

ابدالی، یعقوب؛ حاتمی نژاد، حسین، زنگنه شهرکی، سعید؛ پوراحمد، احمد و سلمانی، محمد (۱۴۰۳)، سنجش تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با استفاده از شاخص‌های ترکیبی؛ نمونه مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد، مطالعات شهری، 13 (50)، 61-76. [https://doi.org/10.34785/13\(50\).61-76](https://doi.org/10.34785/13(50).61-76)، J011.2022.021

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

