



Analysis of Urban Spatial Resilience against Earthquakes with Emphasis on the Emergency Shelter Capacity Gap: A Case Study of Kerman City

Mitra Ghorbi *



Assistant Professor, Department of Urban Studies, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

1. Introduction

Rapid urbanization and persistent dilapidated fabric in seismically active cities require risk and spatial resilience to be evaluated jointly, since disaster severity depends on the interaction between built-environment vulnerability, population distribution, and urban response capacity. Seismic vulnerability assessment, urban risk analysis, shelter siting, and resilience measurement have nonetheless developed largely as separate research streams. Consequently, no integrated framework has quantified both the potential demand generated by earthquake-induced displacement and a city's spatial response capacity in a single measure. This gap is especially consequential for historic Iranian cities with dense cores and narrow street networks. Kerman, located in a high seismic-hazard zone with an extensive dilapidated historic core, exemplifies this category, yet no prior study has jointly analyzed its vulnerability, exposure, and response capacity within a unified spatial framework.

2. Research Questions

1. What is the spatial pattern of seismic vulnerability, spatial risk, and spatial resilience in Kerman city?
2. How does the relationship between the spatial distribution of risk and emergency shelter capacity shape Kerman's spatial resilience?

2. Literature Review

Contemporary scholarship frames risk as the interaction of vulnerability, exposure, and response capacity (Alexander, 2012; Blaikie et al., 2014; UNDRR, 2017, 2022), rooted in the Pressure-and-Release model, although this framework translates poorly into measurable neighborhood-scale spatial patterns (Wilder, 2018). Composite indices also frequently rely on arbitrarily weighted variables without sensitivity testing (Beccari, 2016; Wehbe & Baroud, 2024). Shelter-accessibility studies commonly assume an intact post-earthquake road network despite evidence that seismic events can disable access routes (Hosseini et al., 2024; Liu & Guo, 2025).

* Corresponding Author: m.ghorbi@pnu.ac.ir

How to Cite: Ghorbi, M. (2026). Spatial Resilience Assessment of Urban Areas to Earthquakes with Emphasis on the Emergency Shelter Capacity Gap: A Case Study of Kerman City, *Journal Urban and Regional Development Planning*, 11 (38), 155-199.

The closest precedent is Wei et al.'s (2024) identification of a “spatial incongruity between disaster resilience and risk” in Chengdu. Iranian studies confirm concentrated vulnerability in historic cores but continue to treat risk analysis and shelter siting as separate research streams (Amrei et al., 2024; Kamranzad et al., 2020). These gaps motivate the integrated Spatial Resilience Index (SRI) developed in this study.

3. Methodology

This applied study used spatial multi-criteria analysis in a GIS environment on a 30×30 m raster grid covering Kerman (population 527,650; 2016 census), with population dasymetrically mapped onto cells. Dilapidated fabric was identified using structural instability, parcel fragmentation, and street impermeability. Seismic vulnerability was assessed through the Karmania Hazard Model (KHM), combining six criteria weighted by AHP (15 experts; consistency ratio = 0.04), and applied to an MMI-IX scenario using JICA (2000) fragility curves. Validation against an independent dilapidated-fabric layer yielded AUC = 0.83 and Cohen's κ = 0.62. Population exposure combined vulnerability and population layers into a Population Exposure Index ($PEI = Ph/Pt$). Shelter capacity was assessed for immediate shelter (500 m buffer, 2 m²/person) and transitional shelter (>10,000 m², 9.5 m²/person), yielding a Shelter Capacity Index ($SCI = Cs/Ds$) and Spatial Resilience Gap ($Ds - Cs$). Spatial risk was calculated as $R = V \times E$. Fuzzy AHP weighted spatial risk and shelter capacity to parameterize the SRI: $SRI = W_r(1-R) + W_c(C)$, classified into five levels. Robustness was tested through OAT weight perturbation, alternative normalization/aggregation methods, and 1,000-iteration Monte Carlo simulation.

4. Results

The KHM identified vulnerability hotspots in the central, eastern, northern, southeastern, and southwestern districts, coinciding with the historic core; high-to-complete damage classes covered 31.7 km² (24.4% of the city). Population exposure analysis showed that 257,780 residents (48.9%) lived in high-to-complete vulnerability zones ($PEI = 0.489$), indicating the importance of population concentration in shaping risk. The highest spatial risk occurred in the central core and eastern/southeastern districts, where vulnerability and population density reinforced one another. Shelter assessment identified 483 immediate-shelter sites and 497 transitional-shelter candidates. Twelve principal transitional sites (2,057,467 m²) provided potential capacity for 216,576 people against a demand of 257,780 ($SCI = 0.84$), producing a citywide Spatial Resilience Gap of 41,204 people. Fuzzy AHP assigned weights of 0.62 to spatial risk and 0.38 to shelter capacity. The SRI showed a clear center–periphery structure: 30.8% of the city fell within very low/low resilience, concentrated in the historic core; 45.6% fell within high/very high resilience in peripheral areas; and 23.6% showed medium resilience.

Sensitivity analysis confirmed robustness: $\pm 20\%$ OAT weight perturbations shifted critical low-resilience areas by no more than ± 7.2 percentage points; alternative methods correlated above 0.94 with the baseline; and Monte Carlo results showed $CV < 0.15$ in 85% of cells, with the center–periphery pattern stable across all iterations.

5. Discussion

The findings situate Kerman within a broader pattern of structural risk accumulation in historic Iranian urban cores, consistent with Tehran’s historic fabric (Amrei et al., 2024). Critically, spatial resilience is not simply risk’s inverse: adequate shelter access can elevate resilience even under moderate risk, demonstrating that response infrastructure independently moderates the risk–resilience relationship. This parallels Wei et al.’s (2024) Chengdu findings and suggests that such spatial incongruities may be characteristic of historic-core cities. A key limitation is the assumption of an intact road network. Because shelter-access shortfalls concentrate in fine-grained, dilapidated fabric prone to post-earthquake blockage, the actual supply–demand gap may exceed the static estimate of 41,204 people. The SRI’s stability under weight perturbation, a validation step often absent from composite-index studies (Beccari, 2016), strengthens confidence that the observed spatial structure reflects underlying conditions rather than expert judgment alone.

6. Conclusion

Kerman’s spatial resilience follows a pronounced center–periphery pattern: the historic core, characterized by dilapidated fabric, high seismic vulnerability, dense population, and limited shelter access, occupies the lowest resilience tiers, whereas peripheral areas perform comparatively well. The main theoretical contribution is demonstrating that spatial resilience emerges from the balance between risk and response capacity rather than constituting risk’s simple inverse. Methodologically, the integrated, sensitivity-tested SRI provides a decision-support tool for prioritizing risk-reduction interventions, urban regeneration, and emergency resource allocation in historic, seismically active cities. Its limitations include the static road-network assumption, exclusion of social and institutional resilience dimensions, and the cross-sectional nature of the data.

Keywords: Spatial Resilience, Spatial Risk, Seismic Vulnerability, Emergency Shelter, Kerman City.



تحلیل تاب‌آوری فضایی شهری در برابر زلزله با تأکید بر شکاف

ظرفیت اسکان اضطراری:

مطالعه موردی شهر کرمان

میترا قربی*  استادیار گروه شهرسازی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

رشد شتابان جمعیت و گسترش بافت‌های فرسوده در شهرهای لرزه‌خیز، ضرورت ارزیابی توان ریسک و تاب‌آوری فضایی را دوچندان کرده است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل و پهنه‌بندی تاب‌آوری فضایی شهر کرمان در برابر زمین‌لرزه، چارچوبی یکپارچه ارائه می‌دهد که در آن آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مواجهه جمعیتی، ریسک فضایی و ظرفیت اسکان اضطراری به‌طور هم‌زمان تلفیق شده‌اند. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، تحلیل فضایی چندمعیاره در بستر GIS با بهره‌گیری از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که حدود ۴۹ درصد از جمعیت شهر (۲۵۷، ۷۸۰ نفر) در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد تا کامل سکونت دارند و بیشترین سطوح ریسک در هسته مرکزی، شرق و جنوب‌شرق متمرکز است. وزن‌دهی با تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نشان داد که ریسک فضایی با وزن ۰۰۶۲ در مقایسه با ظرفیت اسکان اضطراری با وزن ۰۰۳۸، سهم بیشتری در تبیین تاب‌آوری دارد. بر پایه شاخص تاب‌آوری فضایی، حدود ۳۱ درصد از مساحت شهر در طبقات بسیار کم و کم و ۴۶ درصد در طبقات زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. شکاف برآوردی بین ظرفیت اسکان اضطراری و تقاضای بالقوه آن به میزان ۴۱، ۲۰۴ نفر برآورد شد؛ نقشه شاخص تاب‌آوری فضایی توزیع مکانی این شکاف را به‌صورت الگوی آشکار مرکز-پیرامون نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که نواحی مرکزی و تاریخی به دلیل هم‌زمانی فرسودگی کالبدی، تراکم بالای جمعیت و محدودیت ظرفیت پاسخ، پایین‌ترین سطح تاب‌آوری را دارند. شاخص تاب‌آوری فضایی ارائه‌شده در این پژوهش، با تلفیق صریح ریسک و ظرفیت پاسخ در یک سنجه واحد و آزمون حساسیت، به شکاف‌های مفهومی، روش‌شناختی و تحلیلی موجود پاسخ می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری تصمیم‌یار برای اولویت‌بندی مداخلات کاهش خطر، بازآفرینی شهری و تخصیص منابع مدیریت بحران در شهرهای تاریخی و لرزه‌خیز به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری فضایی، ریسک فضایی، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، اسکان اضطراری، شهر کرمان

مقدمه

افزایش شتابان شهرنشینی، تمرکز جمعیت در پهنه‌های متراکم و گسترش ساخت‌وسازهای آسیب‌پذیر، مخاطرات طبیعی را به چالشی اساسی برای پایداری شهرها بدل کرده است. در این میان، زمین‌لرزه به دلیل وقوع ناگهانی، گستردگی خسارات و اختلال هم‌زمان در کالبد و عملکرد شهر، همواره در کانون پژوهش‌های برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران قرار داشته است. تجربه زمین‌لرزه‌های بزرگ دهه‌های اخیر نشان داده است که شدت پیامدهای یک سانحه نه تنها تابع بزرگی آن، بلکه برآیند آسیب‌پذیری محیط ساخته‌شده، میزان مواجهه جمعیت و ظرفیت پاسخ‌دهی سیستم شهری است (Alexander, 2012; Rahimi et al., 2025). از این رو، رویکردهای نوین مدیریت خطر، به جای تمرکز صرف بر مهار مخاطره، شناسایی و کاهش عوامل مولد ریسک و ارتقای تاب‌آوری شهری را هدف قرار داده‌اند؛ رویکردی که در اسناد بین‌المللی کاهش خطر بلایا نیز بر آن تصریح شده است (Anjomshoa & Heravi, 2025; Kaya et al., 2025).

هم‌گام با این تحول، مفهوم تاب‌آوری شهری از برداشت‌های اولیه مهندسی و سازه‌ای فراتر رفته و به ظرفیت سیستم شهری برای جذب شوک، سازگاری، حفظ عملکردهای اساسی و بازیابی پس از بحران بسط یافته است (Wang et al., 2025). بر این اساس، تاب‌آوری بر تعامل ابعاد کالبدی، اجتماعی، فضایی و نهادی شهر استوار است و کیفیت سازمان فضایی شهر نقشی تعیین‌کننده در میزان آسیب‌پذیری و توان پاسخ آن ایفا می‌کند (Parizi et al., 2022, 2024). در همین چارچوب، «تاب‌آوری فضایی» با تمرکز بر توزیع مکانی ریسک و ظرفیت پاسخ، امکان شناسایی نابرابری‌های فضایی و اولویت‌بندی مداخلات کاهش خطر را فراهم می‌کند (Del Pinto et al., 2024).

با وجود گسترش چشمگیر پژوهش‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، تحلیل ریسک شهری، مکان‌یابی اسکان اضطراری و سنجش تاب‌آوری، این حوزه‌ها عمدتاً در قالب جریان‌های پژوهشی مستقل رشد یافته‌اند. بخش عمده‌ای از مطالعات ریسک بر شناسایی پهنه‌های پرخطر و جمعیت در معرض خطر متمرکز بوده‌اند (Ansari et al.,

بهینه‌سازی مکان‌یابی یا برآورد ظرفیت فضاها یا باز شهری پرداخته‌اند (Li et al., 2025; Gerçek & Güven, 2023). حال آنکه پژوهش‌های اسکان اضطراری اغلب به دیگر ابعاد ریسک تلفیق کرده‌اند (Kapucu et al., 2024). در سوی دیگر، مطالعات تاب‌آوری نیز بیشتر بر مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی و نهادی تأکید داشته و ظرفیت فضایی پاسخ را کمتر با دیگر ابعاد ریسک تلفیق کرده‌اند (Parizi et al., 2022; Wang et al., 2024). در نتیجه، چارچوبی یکپارچه که بتواند هم‌زمان «تقاضای بالقوه ناشی از جابه‌جایی جمعیت آسیب‌دیده» و «ظرفیت واقعی پاسخ فضایی شهر» را در یک نظام تحلیلی واحد ارزیابی کند، همچنان محدود است. این گسست موجب شده که شناسایی پهنه‌های دارای بیشترین عدم تناسب میان سطح ریسک و توان پاسخ‌دهی، به‌عنوان گلوگاه اصلی تاب‌آوری شهری، با دشواری و عدم قطعیت همراه باشد.

این چالش در شهرهای تاریخی و لرزه‌خیز ایران ابعاد پیچیده‌تری می‌یابد؛ شهرهایی که بافت‌های فرسوده و متراکم، ریزدانگی قطعات و شبکه معابر کم‌عرض، احتمال شکل‌گیری بحران‌های انسانی ثانویه را به‌شدت افزایش می‌دهد. شهر کرمان، به‌عنوان یکی از شهرهای تاریخی و لرزه‌خیز ایران، افزون بر قرارگیری در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا، بخش قابل‌توجهی از جمعیت و فعالیت‌های خود را در هسته‌های تاریخی و فرسوده متمرکز کرده است. اگرچه مطالعاتی در زمینه آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ارزیابی ریسک و مکان‌یابی اسکان اضطراری در این شهر انجام شده است، شمار پژوهش‌هایی که این سه مؤلفه را در چارچوبی فضایی و یکپارچه تلفیق کرده و رابطه متقابل آن‌ها را در مقیاس محلات تحلیل کنند، اندک است. از این رو، شناخت الگوی فضایی شکاف‌های تاب‌آوری و تعیین محلات دارای بیشترین ناهماهنگی میان ریسک و ظرفیت پاسخ، همچنان ضرورتی انکارناپذیر برای برنامه‌ریزی کاهش خطر در این شهر به شمار می‌رود.

پژوهش حاضر در پاسخ به این خلأ، چارچوبی یکپارچه برای تحلیل و پهنه‌بندی تاب‌آوری فضایی در برابر زمین‌لرزه ارائه می‌دهد که در آن آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مواجهه جمعیتی و ظرفیت اسکان اضطراری در یک نظام تحلیلی مشترک تلفیق می‌شوند. در این

چارچوب، ریسک فضایی از برهم‌کنش آسیب‌پذیری و مواجهه استخراج شده و سپس در پیوند با ظرفیت پاسخ، برای شناسایی نواحی دارای بیشترین شکاف تاب‌آوری فضایی به کار گرفته می‌شود. مفهوم «شکاف تاب‌آوری فضایی» که مبنای تحلیل این پژوهش را تشکیل می‌دهد، ناظر بر عدم تناسب میان سطح ریسک و ظرفیت پاسخ در هر واحد فضایی است و به‌طور توأمان دو پرسش را پاسخ می‌دهد: «چه میزان کمبود ظرفیت در مقیاس شهر وجود دارد؟» و «این کمبود در کدام پهنه‌ها متمرکز شده است؟». بدین ترتیب، تحلیل از سطح کمبود عددی صرف فراتر رفته و الگوی توزیع مکانی شکاف‌ها را به‌عنوان معیاری برای اولویت‌بندی مداخلات کاهش خطر نمایان می‌سازد.

از سوی دیگر، سیاست‌های نوسازی و احیای بافت‌های فرسوده و تاریخی، به‌ویژه در محدوده‌های مرکزی شهرها، می‌توانند از طریق تغییر در تراکم ساختمانی و ظرفیت جمعیت‌پذیری بر الگوی مواجهه و نیاز به خدمات و زیرساخت‌های پاسخ اضطراری اثرگذار باشند. در سیاست‌های موجود، افزایش ظرفیت ساخت و جمعیت‌پذیری در بافت‌های فرسوده به تأمین خدمات عمومی، فضای سبز، شبکه معابر و شرایط کالبدی وابسته شده و بافت‌های تاریخی نیز تابع ضوابط ویژه حفاظت و احیا هستند. با این حال، ارزیابی هم‌زمان تناسب این ظرفیت‌های توسعه‌ای با الگوی ریسک لرزه‌ای و ظرفیت اسکان اضطراری، به‌ویژه در مقیاس فضایی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این منظر، شناسایی پهنه‌هایی که در آنها تمرکز آسیب‌پذیری و جمعیت با محدودیت ظرفیت پاسخ هم‌زمان شده است، می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی فضایی مداخلات و اجرای هدفمندتر سیاست‌های نوسازی و احیای شهری فراهم کند.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش، تحلیل و پهنه‌بندی تاب‌آوری فضایی شهر کرمان در برابر زمین‌لرزه با تأکید بر روابط متقابل میان آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مواجهه جمعیتی و ظرفیت اسکان اضطراری است. برای دستیابی به این هدف، پژوهش به دو پرسش پاسخ می‌دهد: (۱) الگوی فضایی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ریسک فضایی و تاب‌آوری فضایی در

شهر کرمان چگونه است؟ (۲) رابطه میان توزیع فضایی ریسک و ظرفیت اسکان اضطراری چه تأثیری بر شکل‌گیری الگوی تاب‌آوری فضایی محلات شهر کرمان دارد؟

ادبیات و پیشینه پژوهش

تحول مفهوم ریسک طی دو دهه اخیر، نگاه مخاطره‌محور به خسارات زمین‌لرزه را به رویکردی سیستمی تغییر داده است؛ رویکردی که بحران را نه پیامد صرف مخاطره، بلکه حاصل برهم‌کنش مخاطره با آسیب‌پذیری، مواجهه و ظرفیت پاسخ می‌داند (Alexander, 2012; Cutter et al., 2010; IPCC, 2022; UNDRR, 2017, 2022). اگرچه این چارچوب به‌طور گسترده پذیرفته شده است، هر یک از این مؤلفه‌ها عمدتاً در مسیرهای پژوهشی مستقل توسعه یافته‌اند و همین گسست، مانع شکل‌گیری مدل‌های یکپارچه ارزیابی تاب‌آوری فضایی شده است.

نخستین جریان پژوهشی بر آسیب‌پذیری کالبدی متمرکز بود و ریسک را عمدتاً پیامد شکنندگی محیط ساخته‌شده تلقی می‌کرد. بر این اساس، عواملی همچون فرسودگی ساختمان‌ها، تراکم بالا، ریزدانگی قطعات، کمبود فضاهای باز و ناکارآمدی شبکه معابر به‌عنوان مهم‌ترین عوامل افزایش خسارت معرفی شدند (Alexander, 2012; Godschalk, 2003). توسعه چارچوب «فشار و رهایی» این دیدگاه را فراتر برد و نشان داد که آسیب‌پذیری تنها یک ویژگی کالبدی نیست، بلکه از برهم‌کنش نابرابری‌های اجتماعی، اقتصادی و فضایی شکل می‌گیرد (Blaikie et al., 2014). اگرچه این تحول موجب عبور از رویکردهای صرفاً مهندسی شد و پژوهش‌های جدید نیز بر نقش ساختار فضایی در شکل‌گیری توزیع آسیب‌پذیری تأکید دارند (Biswas & Nautiyal, 2023; Wilder, 2018)، اما تمرکز غالب بر کاهش شکنندگی، این فرض را تقویت کرد که کاهش آسیب‌پذیری به‌تنهایی برای کاهش ریسک کافی است؛ فرضی که تجربه زمین‌لرزه‌های اخیر آن را تأیید نمی‌کند.

همین تجربه‌ها نشان داد شهرهایی با سطوح مشابهی از آسیب‌پذیری، الزاماً پیامدهای یکسانی را تجربه نمی‌کنند. این تفاوت، توجه پژوهشگران را به مفهوم مواجهه معطوف ساخت؛ مفهومی که ریسک را نه تنها تابع کیفیت محیط ساخته‌شده، بلکه وابسته به توزیع فضایی جمعیت و دارایی‌های در معرض خطر می‌داند (Birkmann, 2006; Cutter, 2012). مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که تمرکز جمعیت در پهنه‌های آسیب‌پذیر، حتی بدون تغییر در کیفیت کالبدی، می‌تواند شدت بحران‌های انسانی را افزایش دهد (Bastos & Moroz & Thieken, 2024). از این رو، بسیاری از مدل‌های ریسک با تلفیق آسیب‌پذیری و مواجهه، برآوردهای دقیق‌تری از خسارات بالقوه ارائه کرده‌اند (Aitsi-Selmi et al., 2016; Koks et al., 2019; Stolte et al., 2024). با این حال، این مدل‌ها نیز نتوانستند توضیح دهند که چرا شهرهایی با سطوح مشابه ریسک، عملکردهای متفاوتی در مدیریت بحران و بازیابی پس از سانحه دارند.

پاسخ به این پرسش، مفهوم ظرفیت پاسخ را به یکی از ارکان اصلی تاب‌آوری شهری تبدیل کرد. در این رویکرد، تاب‌آوری نه صرفاً پیامد کاهش آسیب‌پذیری، بلکه حاصل تعامل میان ریسک و توان سیستم شهری برای پاسخگویی به بحران است (Meerow & Newell, 2019; Sharifi, 2020, 2023; Sharifi & Yamagata, 2016). این تحول، مفهوم تاب‌آوری فضایی را نیز بازتعریف کرد؛ به گونه‌ای که کارآمدی ظرفیت پاسخ دیگر تنها به میزان آن وابسته نبود، بلکه به نحوه توزیع فضایی آن نسبت به الگوی ریسک بستگی پیدا کرد. بنابراین، پرسش اصلی از «چه میزان ظرفیت وجود دارد؟» به «آیا ظرفیت در محل وقوع بیشترین نیاز مستقر شده است؟» تغییر یافت؛ تغییری که مبنای بسیاری از مطالعات جدید تاب‌آوری را شکل داده، اما هنوز به چارچوبی منسجم برای تحلیل روابط فضایی میان ریسک و ظرفیت منجر نشده است.

این محدودیت به‌ویژه در مطالعات اسکان اضطراری آشکار است. پیشرفت مدل‌های GIS، تحلیل شبکه و الگوریتم‌های مکان‌یابی، دقت ارزیابی ظرفیت فضاهای باز شهری را به‌طور محسوسی افزایش داده است (Ermagun et al., 2024; Liang et al., 2023; Wang et al., 2024).

(al., 2022). همچنین مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص توانسته‌اند ظرفیت، شعاع دسترسی و پوشش جمعیتی مراکز اسکان را با دقت بیشتری برآورد کنند (Aghaie & Karimi, 2022; Duan & Fei, 2025; Wang et al., 2024). با وجود این، اغلب این پژوهش‌ها ظرفیت پاسخ را مستقل از توزیع فضایی ریسک تحلیل کرده‌اند و در نتیجه، قادر به ارزیابی میزان انطباق میان محل استقرار ظرفیت و محل تمرکز جمعیت آسیب‌دیده نبوده‌اند. به بیان دیگر، آن‌ها بیش از آنکه به کفایت فضایی ظرفیت پردازند، بر کمیت آن تمرکز کرده‌اند.

محدودیت مشابهی در مطالعات سنجش تاب‌آوری نیز مشاهده می‌شود. اگرچه شاخص‌های ترکیبی امکان تلفیق ابعاد کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و عملکردی را فراهم کرده‌اند، اما نتایج آن‌ها به شدت به انتخاب شاخص‌ها، روش استانداردسازی، وزن‌دهی و شیوه تجمع متغیرها وابسته است (Beccari, 2016; Tate, 2012; Wehbe & Baroud, 2024). بنابراین، اختلاف میان نتایج بسیاری از پژوهش‌ها بیش از آنکه ناشی از تفاوت شرایط شهرها باشد، بازتاب تفاوت در ساختار مدل‌های تحلیلی است. مهم‌تر آنکه، اغلب این مطالعات ریسک و ظرفیت پاسخ را به‌عنوان دو خروجی مستقل ارزیابی کرده‌اند و از تحلیل رابطه فضایی میان آن‌ها غفلت کرده‌اند؛ در حالی که از منظر برنامه‌ریزی شهری، مسئله اصلی نه بیشترین ریسک و نه بیشترین ظرفیت، بلکه بیشترین ناهماهنگی میان این دو است.

این گسست در مطالعات تجربی نیز به‌وضوح مشاهده می‌شود. در ایران، پژوهش‌ها عمدتاً بر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، تحلیل ریسک یا سنجش تاب‌آوری در مقیاس‌های مختلف متمرکز بوده‌اند. تجربه زلزله بم، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سوانح لرزه‌ای ایران، زمینه توجه بیشتر به مفهوم تاب‌آوری در مطالعات شهری و منطقه‌ای را فراهم کرد؛ برای نمونه، مطالعات انجام شده در استان کرمان نشان داده‌اند که پیامدهای زلزله می‌تواند ساختار و عملکرد سیستم‌های شهری و منطقه‌ای را دستخوش تغییر کند (هدایتی‌فرد و روزنبلات، ۱۳۹۸). در مقابل، مطالعات آسیب‌پذیری در شهرهایی مانند تبریز (احدنژاد روشی و همکاران، ۱۳۹۵) و شهرستان‌های استان اردبیل (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵)، یزد (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۳) عمدتاً بر شناسایی و سنجش ابعاد اجتماعی و کالبدی

آسیب‌پذیری در برابر زلزله متمرکز بوده‌اند. این مطالعات در کنار پژوهش‌های مرتبط با مکان‌یابی اسکان اضطراری در ایران (Aghaie & Karimi, 2022; Amrei et al., 2024; Kamranzad et al., 2020)، نشان می‌دهند که اگرچه شناخت آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های پاسخ در ادبیات داخلی توسعه یافته است، اما همچنان پیوند میان الگوی فضایی ریسک و ظرفیت پاسخ کمتر به‌صورت یکپارچه بررسی شده است. در سطح بین‌المللی نیز، اگرچه بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی، داده‌های سنجش از دور و مدل‌های شبکه دقت ارزیابی‌ها را افزایش داده است، اما اغلب پژوهش‌ها همچنان ریسک و ظرفیت پاسخ را به‌عنوان دو لایه مستقل تولید می‌کنند (Del Pinto et al., 2024; Wang et al., 2024). در مقابل، شواهد حاصل از زمین‌لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد شدت بحران بیش از آنکه تابع بزرگی زمین‌لرزه باشد، حاصل هم‌زمانی آسیب‌پذیری کالبدی، تمرکز جمعیت و ضعف ظرفیت پاسخ است (Galasso & Opabola, 2024; Hussain et al., 2023; Sari, 2025) و حتی در بسیاری از شهرها، الگوی فضایی تاب‌آوری با الگوی ریسک انطباق ندارد (Wei et al., 2024).

از منظر سیاستگذاری شهری نیز، اسناد توسعه فضایی ایران نشان می‌دهند که سیاستگذاری درباره تراکم و نوسازی بافت‌های فرسوده، نیازمند توجه هم‌زمان به ظرفیت شبکه دسترسی و الزامات کالبدی است. در طرح تفصیلی یکپارچه تهران، تعیین تراکم ساختمانی با توجه به ویژگی پهنه، مساحت قطعه، توان شبکه دسترسی و عرض معبر تنظیم شده و برای بافت‌های فرسوده و ریزدانه نیز ضوابط و مشوق‌های خاصی پیش‌بینی شده است. در محدوده‌های تاریخی و مرکزی تهران نیز محدودیت‌های ساخت‌وساز و ارتفاع در کنار الزامات حفاظت از بافت و بناهای تاریخی مورد توجه قرار گرفته است. در محدوده‌های تاریخی، سیاست‌های جدیدتر نیز بر پیوند میان ظرفیت‌سازی، تقویت سکونت، تأمین خدمات و رعایت الزامات مدیریت بحران و پدافند غیرعامل تأکید کرده‌اند (شورای عالی شهرسازی و معماری ایران، ۱۴۰۳). در سطح ملی نیز سیاست‌های تشویقی نوسازی بافت‌های فرسوده و ناکارآمد، از جمله بسته‌های تشویقی مصوب سال ۱۴۰۱، بر نوسازی محله‌ای و در مواردی افزایش ظرفیت ساخت به‌عنوان ابزار تحقق نوسازی تأکید دارند

(شورای عالی شهرسازی و معماری ایران، ۱۴۰۱). در کرمان نیز ضوابط تشویقی نوسازی بافت فرسوده و ناکارآمد، امکان استفاده از تراکم مازاد را مشروط به تهیه طرح یکپارچه بلوک و رعایت الزامات قانونی پیش‌بینی کرده است (طرح جامع شهر کرمان، ۱۴۰۴).

با این حال، این سیاست‌ها عمدتاً در سطح ضوابط کالبدی، خدماتی و دسترسی تعریف شده‌اند و کمتر به سنجش هم‌زمان ریسک لرزه‌ای و ظرفیت پاسخ در مقیاس فضایی پرداخته‌اند. از این منظر، پژوهش حاضر درصدد جایگزینی سیاست‌های موجود نیست، بلکه می‌کوشد مبنایی فضایی برای اجرای هدفمندتر آنها فراهم کند؛ به گونه‌ای که تصمیم درباره نوسازی، تراکم و ظرفیت جمعیت‌پذیری، در پهنه‌هایی با ریسک بالاتر، هم‌زمان با ارزیابی و ارتقای ظرفیت پاسخ و اسکان اضطراری صورت گیرد. به‌ویژه، در پهنه‌هایی که تمرکز جمعیت و آسیب‌پذیری با محدودیت ظرفیت پاسخ همراه است، افزایش ظرفیت جمعیت‌پذیری بدون تقویت هم‌زمان ظرفیت پاسخ می‌تواند با اهداف کاهش خطر تعارض پیدا کند.

برآیند این مطالعات نشان می‌دهد که خلأ اصلی ادبیات نه کمبود شاخص‌ها و نه ضعف ابزارهای تحلیلی، بلکه فقدان چارچوبی مفهومی برای تبیین این رابطه فضایی است. بیشتر پژوهش‌ها ریسک و ظرفیت پاسخ را به‌طور مستقل اندازه‌گیری کرده و سپس نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند؛ در حالی که ظرفیت پاسخ تنها معنا پیدا می‌کند که در ارتباط مستقیم با الگوی توزیع نیازهای ناشی از بحران تفسیر شود. بنابراین، مسئله اصلی صرفاً «کمبود ظرفیت» نیست، بلکه عدم تناسب فضایی میان نیاز و ظرفیت است؛ وضعیتی که حتی در شهرهای برخوردار از زیرساخت‌های مناسب نیز می‌تواند به تشدید بحران‌های ثانویه منجر شود.

بر این اساس، پژوهش حاضر با معرفی مفهوم «شکاف تاب‌آوری فضایی» می‌کوشد این خلأ را برطرف کند. برخلاف رویکردهای رایج که ریسک و ظرفیت پاسخ را به‌عنوان دو خروجی مستقل ارزیابی می‌کنند، در این پژوهش تاب‌آوری فضایی حاصل میزان انطباق فضایی میان تقاضای بالقوه ناشی از ریسک و ظرفیت واقعی پاسخ تلقی می‌شود. در

این چارچوب، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مواجهه جمعیتی و ظرفیت اسکان اضطراری نه سه شاخص مستقل، بلکه اجزای یک سیستم فضایی واحد هستند که برهم‌کنش آن‌ها الگوی واقعی تاب‌آوری را شکل می‌دهد. از این رو، نوآوری پژوهش حاضر صرفاً در ترکیب چند شاخص یا توسعه یک مدل مکانی جدید نیست، بلکه در تغییر منطق ارزیابی تاب‌آوری از سنجش مستقل مؤلفه‌ها به تحلیل روابط فضایی میان آن‌ها نهفته است؛ رویکردی که مبنای واقع‌بینانه‌تر برای اولویت‌بندی مداخلات، تخصیص منابع و برنامه‌ریزی کاهش خطر در شهرهای لرزه‌خیز فراهم می‌آورد.

روش پژوهش

رویکرد پژوهش و چارچوب تحلیلی

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش‌شناسی، یک تحلیل فضایی چندمعیاره^۱ است که در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ اجرا شده است. چارچوب پژوهش بر این فرض استوار است که شدت پیامدهای ناشی از زمین‌لرزه صرفاً تابع آسیب‌پذیری کالبدی نیست، بلکه از برهم‌کنش میان شکنندگی محیط ساخته‌شده، میزان مواجهه جمعیت و ظرفیت اسکان اضطراری پس از سانحه تأثیر می‌پذیرد. بر این اساس، فرآیند پژوهش در هشت مرحله اصلی سازمان‌دهی شد: (۱) شناسایی و پهنه‌بندی بافت‌های فرسوده، (۲) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با مدل KHM^۳، (۳) تحلیل مواجهه جمعیتی، (۴) ارزیابی ظرفیت اسکان اضطراری، (۵) محاسبه شاخص ریسک فضایی، (۶) وزن‌دهی معیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی^۴، (۷) محاسبه و پهنه‌بندی شاخص تاب‌آوری فضایی^۵ و (۸) تحلیل حساسیت و عدم قطعیت.

1 Spatial Multi-Criteria Analysis: SMCA

2 GIS

3 Karmania Hazard Model: KHM

4 Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP

5 Spatial Resilience Index: SRI

واحد تحلیل فضایی و پایگاه داده

تحلیل‌ها بر شبکه رستری با سلول 30×30 متر انجام شد؛ این اندازه بر مبنای موازنه سه معیار (حفظ ناهمگنی فضایی در مقیاس محله، سازگاری با بلوک‌های آماری مرکز آمار ایران، و همافزایی با دقت لایه‌های کالبدی) انتخاب گردید. داده‌های جمعیتی بلوک‌های آماری با روش دایسمتریک^۱ و بر اساس وزن‌دهی کاربری اراضی و تراکم زیربنا به سطح سلول توزیع شدند. تمامی لایه‌ها پس از کنترل کیفیت هندسی و یکپارچه‌سازی سامانه مختصات در محیط ArcGIS Pro سازمان‌دهی شدند. داده‌های این پژوهش از شهرداری کرمان، شرکت بازآفرینی شهری، مرکز آمار ایران و گزارش‌های موضوعی مرکز مطالعات مدیریت بحران کرمان گردآوری شد (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

مؤلفه	داده‌های مورد استفاده	مبنای استاندارد یا مرجع
فرسودگی کالبدی	ناپایداری ابنیه، ریزدانه‌های قطعات، نفوذناپذیری معابر ($< 50\%$)	ضوابط شرکت بازآفرینی شهری ایران
آسیب‌پذیری لرزه‌ای	زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، روانگرایی، دوره تناوب، نوع سازه	مدل کارمانیا خطر
مواجهه جمعیتی	جمعیت بلوک‌های آماری (سرشماری ۱۳۹۵)، تراکم ساختمانی	روش دایسمتریک (توزیع وزنی بر اساس کاربری)
ظرفیت اسکان	فضاهای باز (پارک‌ها، مدارس، مساجد، اراضی بایر) با مساحت $< 10,000$ مترمربع	استاندارد Sphere (۲۰۱۸) و طرح تفصیلی کرمان
داده‌های پایه	شبکه معابر، کاربری اراضی، محدوده قانونی شهر	نقشه‌های پایه شهرداری و شرکت بازآفرینی

شناسایی بافت‌های فرسوده

بافت فرسوده بر اساس سه شاخص آستانه‌ای مصوب شرکت مادر تخصصی عمران و بهسازی شهری ایران شناسایی شد: ناپایداری بیش از ۵۰٪ ابنیه، ریزدانگی بیش از ۵۰٪ قطعات (کمتر از ۲۰۰ متر مربع)، و نفوذناپذیری بیش از ۵۰٪ طول معابر (عرض کمتر از ۶ متر). بلوک‌های واجد هر سه شرط، با عملکرد همپوشانی بولین^۱ به‌عنوان بافت فرسوده شناسایی شدند.

مدل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

آسیب‌پذیری لرزه‌ای با مدل کارمانیا خطر ارزیابی شد؛ این مدل بر منطق ترکیب خطی وزنی استوار است و شش معیار را تلفیق می‌کند: نوع سازه، دوره تناوب غالب امواج میکروترومور، پتانسیل روانگرایی، واحدهای زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، و عمق آب زیرزمینی.

برای وزن‌دهی به معیارها، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با قضاوت ۱۵ خبره استفاده شد. نرخ ناسازگاری ماتریس نهایی برابر با ۰،۰۴ محاسبه شد که کمتر از آستانه ۰،۱۰ است (جدول ۲).

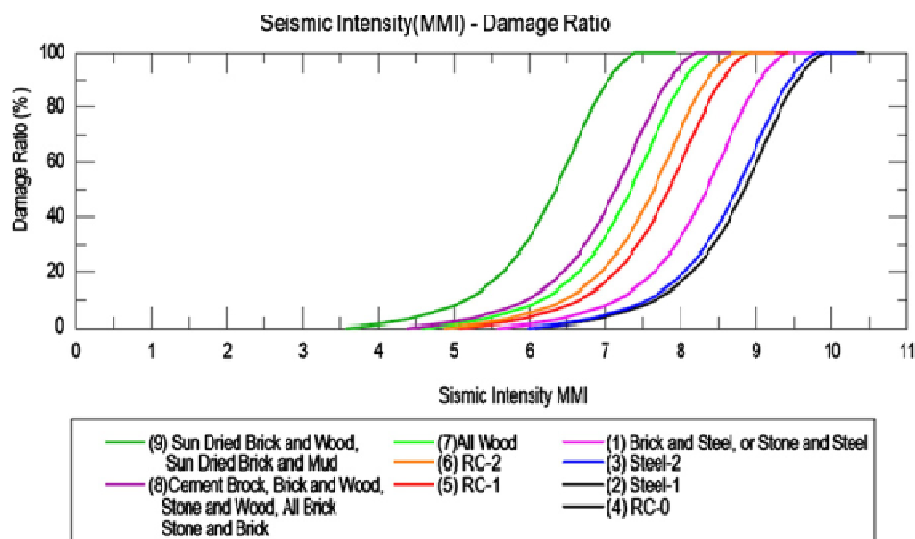
جدول ۲. وزن معیارها برای آسیب‌پذیری لرزه‌ای

معیار	نوع سازه	دوره تناوب غالب	پتانسیل روانگرایی	واحدهای زمین‌شناسی	ضخامت آبرفت	عمق آب زیرزمینی
وزن نهایی	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۸

پس از نرمال‌سازی خطی معیارها در بازه صفر تا یک، شاخص نهایی آسیب‌پذیری رابطه زیر محاسبه گردید که در آن V_{total} شاخص نهایی آسیب‌پذیری، W_i وزن معیار و F_i مقدار استانداردشده همان معیار است.

1 Boolean Overlay

برای برآورد خسارت، سناریوی زمین‌لرزه با شدت IX (مقیاس MMI اصلاح‌شده) بر مبنای مجاورت شهر با گسل‌های کرمان-زنگی‌آباد، شمال کرمان و کوهبنان در نظر گرفته شد و از منحنی‌های شکنندگی استاندارد JICA (۲۰۰۰)، کالیبره‌شده با تجربه زلزله‌های بم، قائنات و زرنند، برای برآورد نسبت خسارت هر تیپ سازه‌ای استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱: منحنی‌های شکنندگی مورد استفاده در مدل KHM برای انواع سازه‌ها بر اساس استاندارد JICA (2000)

خروجی مدل به صورت یک سطح پیوسته آسیب‌پذیری لرزه‌ای تولید و با استفاده از روش شکست‌های طبیعی^۱ در شش طبقه شامل «بدون آسیب»، «بسیار کم»، «کم»، «متوسط»، «زیاد» و «بسیار زیاد» طبقه‌بندی شد.

1 Jenks Natural Breaks

اعتبارسنجی مدل و ارزیابی عدم قطعیت

به‌منظور ارزیابی قابلیت اتکای مدل KHM، اعتبارسنجی در دو سطح شامل راستی‌آزمایی مؤلفه تحلیلی و اعتبارسنجی فضایی خروجی‌ها انجام شد. در مرحله نخست، برآورد خسارت ساختمانی بر پایه منحنی‌های شکنندگی استاندارد JICA (2000) صورت گرفت که بر اساس داده‌های تجربی زمین‌لرزه‌های ایران توسعه یافته و در مطالعات متعدد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، به‌ویژه برای ساختمان‌های بنایی و خشتی، اعتبار آن تأیید شده است. همچنین متغیرهای کالبدی و ژئوتکنیکی مورد استفاده با مبانی نظری مدل و اصول مهندسی زلزله سازگار هستند.

در مرحله دوم، نقشه بافت‌های فرسوده مصوب شهر کرمان به‌عنوان مرجع مستقل برای اعتبارسنجی فضایی استفاده شد. بدین منظور، مقدار شاخص پیوسته آسیب‌پذیری (V_{total}) برای ۱۰۰۰ نقطه تصادفی استخراج و عملکرد مدل با استفاده از تحلیل منحنی مشخصه عملکرد گیرنده و ضریب کاپای کوهن ارزیابی شد. نتایج نشان داد مقدار مساحت زیر منحنی برابر با ۰٫۸۳ (95% CI: 0.80-0.86) است که بیانگر قدرت تفکیک‌کنندگی مناسب مدل است. همچنین با آستانه بهینه ۰٫۶۲، ضریب کاپا ۰٫۶۲ ($p < 0.001$)، دقت کلی ۷۸٪، حساسیت ۷۶٫۷٪ و ویژگی ۷۸٫۶٪ به دست آمد که حاکی از توافق قابل‌توجه میان خروجی مدل و لایه مرجع است.

در مجموع، نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد مدل KHM توان مناسبی در بازنمایی الگوی فضایی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر کرمان دارد. هرچند اعتبارسنجی مبتنی بر داده‌های خسارت واقعی مطلوب‌تر است، در نبود رخدادهای لرزه‌ای اخیر، استفاده از لایه مرجع مستقل رویکردی پذیرفته‌شده برای ارزیابی مدل‌های فضایی ریسک و تاب‌آوری محسوب می‌شود.

تحلیل مواجهه جمعیتی و برآورد جمعیت در معرض خطر

به منظور کمی‌سازی مواجهه جمعیتی، نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای با نقشه توزیع جمعیت مبتنی بر شبکه 30×30 متر تلفیق شد. جمعیت ساکن در پهنه‌های دارای آسیب‌پذیری «زیاد»، «بسیار زیاد» و «کامل» به عنوان جمعیت در معرض خطر تعریف گردید؛ زیرا این طبقات در سناریوی زمین‌لرزه با شدت IX مرکالی بیشترین احتمال خسارت سازه‌ای، جابه‌جایی اجباری جمعیت و نیاز به اسکان اضطراری را دارا هستند. به منظور سنجش شدت تمرکز جمعیت در نواحی بحرانی، شاخص مواجهه جمعیتی^۱ به صورت نسبت جمعیت در معرض خطر به کل جمعیت شهر محاسبه شد:

که در آن Ph جمعیت ساکن در پهنه‌های پرخطر و Pt کل جمعیت محدوده مورد مطالعه است. مقادیر بالاتر این شاخص بیانگر تمرکز بیشتر جمعیت در نواحی با خطر لرزه‌ای بالا و در نتیجه افزایش فشار بالقوه بر ظرفیت‌های پاسخ اضطراری است.

ارزیابی ظرفیت اسکان اضطراری و برآورد شکاف تاب آوری فضایی

به‌منظور ارزیابی ظرفیت پاسخ فضایی شهر پس از زمین‌لرزه، فضاهای باز شهری شامل پارک‌ها، مدارس، مساجد، اراضی بایر و سایر فضاهای قابل استفاده برای اسکان اضطراری شناسایی شدند. ظرفیت اسکان در دو سطح عملکردی ارزیابی شد: اسکان موقت^۲ در شعاع عملکردی ۵۰۰ متری پهنه‌های پرخطر و اسکان نیمه‌دائم^۳ در فضاهای باز منطقه‌ای با مساحت بیش از ۱۰,۰۰۰ مترمربع. تنها فضاهای واقع در پهنه‌های با آسیب‌پذیری «بدون آسیب»، «کم» و «متوسط» به عنوان گزینه‌های مناسب اسکان در نظر گرفته شدند. ظرفیت بالقوه هر فضا بر اساس استاندارد حداقل ۹,۵ مترمربع به ازای هر نفر محاسبه شد (Sphere Handbook, 2018).

1 Population Exposure Index: PEI

2 Immediate Shelter

3 Transitional Shelter

تحلیل تاب‌آوری فضایی شهری در برابر زلزله با...، قریبی | ۱۷۳

به‌منظور ارزیابی کفایت ظرفیت پاسخ، شاخص ظرفیت اسکان^۱ از رابطه زیر محاسبه شد:

که در آن Cs ظرفیت بالقوه اسکان و Ds جمعیت نیازمند اسکان اضطراری (جمعیت در معرض خطر استخراج‌شده از مرحله قبل) است. مقادیر بالاتر SCI بیانگر کفایت بیشتر ظرفیت اسکان نسبت به تقاضای بالقوه است.

در ادامه، شکاف تاب‌آوری فضایی از اختلاف میان جمعیت نیازمند اسکان و ظرفیت موجود محاسبه شد. این شکاف یک سنجه کلان‌نگر و تک‌بعدی است که شدت ناکارآمدی سیستم پاسخ را در سطح شهر نشان می‌دهد.

مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده کمبود ظرفیت اسکان اضطراری هستند. سپس این شکاف به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی در محاسبه شاخص تاب‌آوری فضایی برای تحلیل الگوی مکانی کمبود ظرفیت در سطح شهر مورد استفاده قرار گرفت.

محاسبه ریسک فضایی

در پژوهش حاضر، ریسک فضایی به عنوان حاصل برهم‌کنش میان آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مواجهه جمعیتی تعریف شد. این رویکرد بر این فرض استوار است که پیامدهای بالقوه زمین‌لرزه نه تنها تابع شدت آسیب‌پذیری محیط ساخته‌شده، بلکه وابسته به میزان تمرکز جمعیت در معرض خطر نیز هستند. بنابراین، پهنه‌هایی که به طور همزمان دارای آسیب‌پذیری بالا و تراکم جمعیتی زیاد باشند، بیشترین سطح ریسک را تجربه خواهند کرد. به منظور تلفیق این دو مؤلفه، ابتدا لایه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مواجهه جمعیتی با استفاده از روش Min-Max در بازه صفر تا یک نرمال‌سازی شدند. سپس شاخص ریسک فضایی از رابطه زیر محاسبه شد:

1 Shelter Capacity Index: SCI

که در آن R ریسک فضایی، V آسیب‌پذیری لرزه‌ای نرمال‌شده و E مواجهه جمعیتی نرمال‌شده است. مقادیر بالاتر R بیانگر همزمانی شرایط کالبدی نامناسب و تمرکز بالای جمعیت بوده و به عنوان کانون‌های بحرانی ریسک در سطح شهر تفسیر می‌شوند. خروجی این مرحله به صورت نقشه ریسک فضایی تهیه و به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی ارزیابی تاب‌آوری فضایی مورد استفاده قرار گرفت.

وزن‌دهی معیارهای تاب‌آوری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

به‌منظور تعیین اهمیت نسبی دو مؤلفه اصلی مؤثر بر تاب‌آوری فضایی (ریسک فضایی و ظرفیت اسکان اضطراری) از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. انتخاب این روش به دلیل توانایی آن در مدیریت عدم قطعیت و ابهام موجود در قضاوت‌های انسانی صورت گرفت. ساختار سلسله‌مراتبی در دو سطح طراحی شد: در سطح نخست هدف نهایی پژوهش (ارزیابی تاب‌آوری فضایی) و در سطح دوم دو معیار اصلی (ریسک فضایی و ظرفیت اسکان اضطراری) قرار گرفتند.

برای تعیین اهمیت نسبی این دو معیار، پرسشنامه مقایسه زوجی توسط ۱۵ نفر از متخصصان حوزه‌های مدیریت بحران، برنامه‌ریزی شهری، مهندسی زلزله و سامانه اطلاعات جغرافیایی تکمیل شد؛ انتخاب خبرگان به‌صورت هدفمند و بر اساس سوابق علمی و اجرایی مرتبط انجام گرفت. مقادیر زبانی مقایسات زوجی به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند و میانگین هندسی نظرات خبرگان برای تشکیل ماتریس نهایی قضاوت‌ها به کار رفت. وزن نهایی هر معیار با غیرفازی‌سازی این ماتریس محاسبه شد. وزن‌های استخراج‌شده به‌عنوان ضرایب W_c و W_r در معادله شاخص تاب‌آوری فضایی مورد استفاده قرار گرفتند.

محاسبه شاخص تاب‌آوری فضایی

تاب‌آوری فضایی در این پژوهش به‌عنوان برآیند تعامل میان ریسک فضایی و ظرفیت اسکان اضطراری مفهوم‌سازی شد. پس از نرمال‌سازی هر دو لایه در بازه صفر تا یک، شاخص تاب‌آوری فضایی از رابطه زیر محاسبه شد:

که در آن R ریسک فضایی نرمال‌شده، C ظرفیت اسکان اضطراری نرمال‌شده، W_r وزن معیار ریسک فضایی و W_c وزن معیار ظرفیت اسکان اضطراری است. استفاده از عبارت $(1-R)$ موجب می‌شود کاهش ریسک به افزایش مقدار شاخص تاب‌آوری منجر شود. در نهایت، نقشه تاب‌آوری فضایی در محیط GIS تولید و با استفاده از روش شکست‌های طبیعی در پنج طبقه از «بسیار کم» تا «بسیار زیاد» طبقه‌بندی شد.

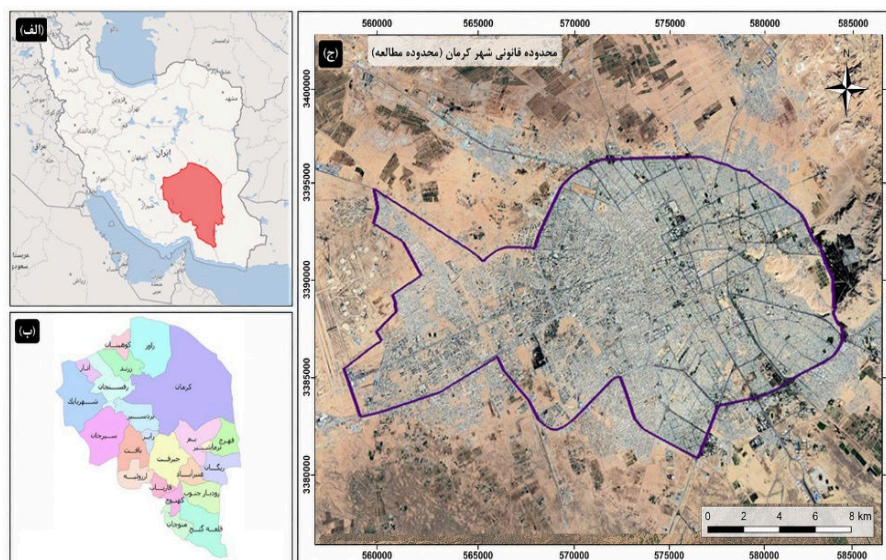
تحلیل سیستماتیک حساسیت و عدم قطعیت (ارزیابی پایداری مدل)

به‌منظور ارزیابی پایداری شاخص تاب‌آوری فضایی، یک چارچوب سه‌سطحی شامل تحلیل حساسیت وزن‌ها، ارزیابی اثر روش‌های نرمال‌سازی و تجمیع، و شبیه‌سازی مونت‌کارلو اجرا شد. در تحلیل حساسیت، وزن معیارهای اصلی در سناریوهای مختلف تغییر داده و تغییرات پهنه‌های بحرانی تاب‌آوری بررسی شد. سپس نتایج حاصل از روش پایه با روش‌های جایگزین نرمال‌سازی و تجمیع مقایسه و میزان توافق آن‌ها با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن ارزیابی گردید. در نهایت، برای سنجش اثر عدم قطعیت داده‌های ورودی، شبیه‌سازی مونت‌کارلو با ۱۰۰۰ تکرار انجام شد و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات شاخص تاب‌آوری فضایی محاسبه گردید تا میزان پایداری مدل و نواحی دارای بیشترین عدم قطعیت شناسایی شوند.

محدوده مورد مطالعه

شهر کرمان، مرکز استان کرمان در جنوب‌شرق ایران، با وسعتی حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع و

جمعیت ۵۲۷،۶۵۰ نفر بر اساس سرشماری رسمی سال ۱۳۹۵، مهم‌ترین مرکز جمعیتی، اداری و خدماتی استان محسوب می‌شود. کرمان در ارتفاع متوسط ۱۷۵۴ متر از سطح دریا و در پهنه‌ای پایکوهی استقرار یافته است. روند توسعه تاریخی شهر، به‌ویژه تمرکز فعالیت‌ها در هسته مرکزی، موجب شکل‌گیری گستره وسیعی از بافت‌های قدیمی و فرسوده شده است که با ریزدانه‌ی قطعات، تراکم بالای ساختمانی، معابر کم‌عرض و کمبود فضاهای باز شناخته می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه

این ویژگی‌های کالبدی علاوه بر افزایش آسیب‌پذیری سازه‌ها، دسترسی نیروهای امدادی، تخلیه اضطراری و استقرار موقت جمعیت آسیب‌دیده را نیز با محدودیت مواجه می‌کنند؛ از این‌رو، هسته مرکزی شهر یکی از بحرانی‌ترین پهنه‌های کرمان از منظر تاب‌آوری فضایی به شمار می‌آید.

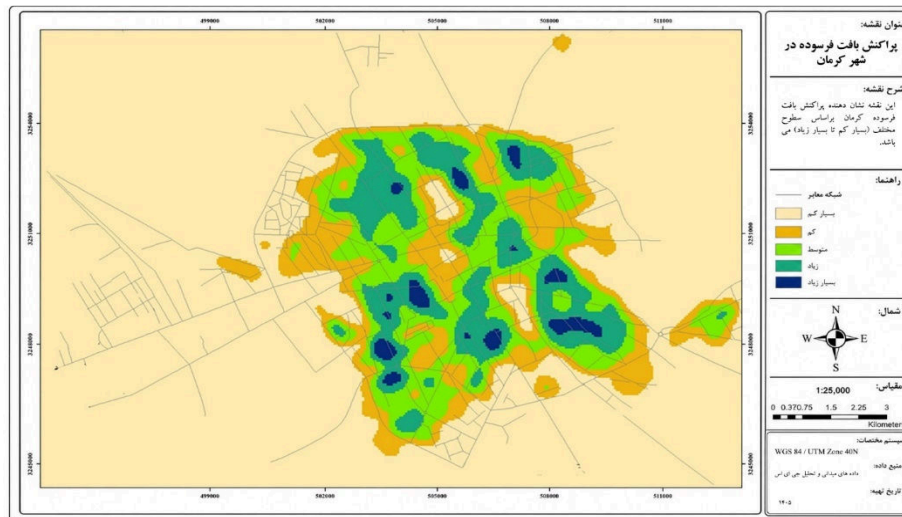
از دیدگاه زمین‌ساختی، کرمان در یکی از فعال‌ترین پهنه‌های لرزه‌خیز ایران قرار گرفته و تحت تأثیر مجموعه‌ای از گسل‌های فعال از جمله کرمان-زنگی‌آباد، شمال کرمان، اختیارآباد و کوهبنان است. مطالعات لرزه‌ای منطقه، وقوع زمین‌لرزه‌هایی با شدت حدود IX در مقیاس مرکالی اصلاح‌شده (MMI) را برای این محدوده محتمل می‌دانند. افزون بر این، وجود شرایط ژئوتکنیکی نامساعد، از جمله احتمال روانگرایی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از شهر، می‌تواند دامنه خسارات ناشی از زلزله را تشدید کند. هم‌زمانی خطر لرزه‌ای بالا با تمرکز جمعیت، بافت‌های فرسوده و محدودیت ظرفیت‌های فضایی، کرمان را به نمونه‌ای مناسب برای بررسی تعامل میان ریسک لرزه‌ای، ظرفیت پاسخ و تاب‌آوری فضایی تبدیل کرده است.

یافته‌ها

توزیع فضایی بافت‌های فرسوده و عوامل آسیب‌پذیری کالبدی

بررسی الگوی فضایی بافت‌های فرسوده شهر کرمان نشان می‌دهد که این محدوده‌ها عمدتاً در بخش‌های مرکزی و تاریخی شهر متمرکز هستند (شکل ۳). هم‌پوشانی سه شاخص ناپایداری ابنیه، ریزدانگی قطعات و نفوذناپذیری شبکه معابر بیانگر آن است که این نواحی علاوه بر آسیب‌پذیری سازه‌ای، از محدودیت‌های عملکردی در تخلیه اضطراری، امدادسانی و دسترسی نیروهای امدادی نیز رنج می‌برند.

تحلیل شاخص‌های فرسودگی نشان می‌دهد که ناپایداری ابنیه مهم‌ترین عامل شکل‌دهنده الگوی فضایی فرسودگی است، در حالی که ریزدانگی قطعات و عرض کم معابر این وضعیت را تشدید می‌کنند. انطباق گسترده این پهنه‌ها با هسته تاریخی شهر نشان می‌دهد که فرآیند رشد تاریخی کرمان به تمرکز تدریجی آسیب‌پذیری در بخش‌های مرکزی انجامیده و بخش عمده ریسک بالقوه شهر را در این محدوده‌ها متمرکز کرده است.

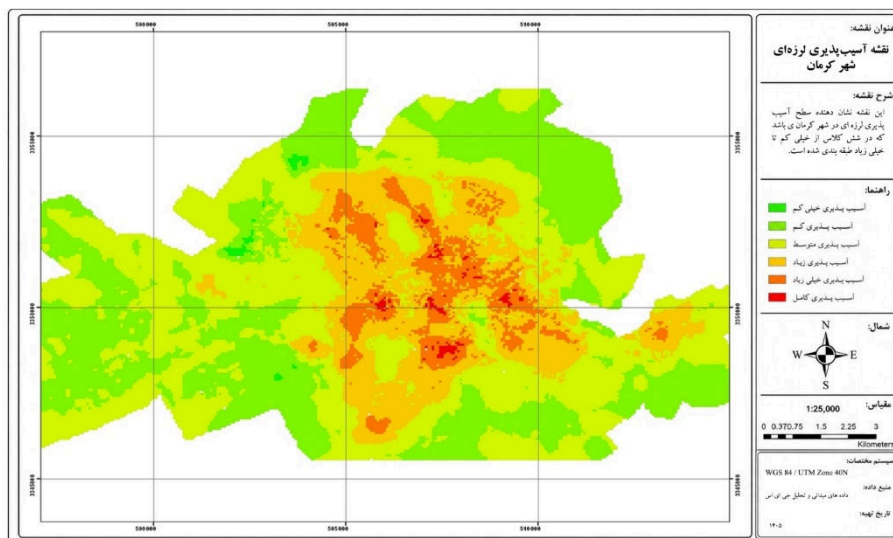


شکل ۳- پراکنش بافت فرسوده در شهر کرمان

در مجموع، نتایج از شکل‌گیری کانون‌های انباشت ساختاری ریسک در مرکز شهر حکایت دارد؛ پهنه‌هایی که هم‌زمان از آسیب‌پذیری کالبدی و محدودیت‌های عملکردی برخوردار بوده و در صورت وقوع زمین‌لرزه، بیشترین احتمال بروز خسارت و اختلال در عملکرد شهری را خواهند داشت.

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت‌های فرسوده

خروجی مدل KHM نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری لرزه‌ای در سطح شهر کرمان از الگوی فضایی ناهمگنی برخوردار است و کانون‌های اصلی آسیب‌پذیری در بخش‌های مرکزی، شرقی، شمالی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی شهر تمرکز یافته‌اند (شکل ۴). این پهنه‌ها عمدتاً با هسته‌های تاریخی توسعه و نواحی دارای تراکم بالای بافت فرسوده انطباق داشته و حاصل هم‌زمانی شرایط نامناسب ساختگاهی، فرسودگی کالبدی و ضعف سازه‌ای هستند. به‌منظور تبیین کمی این الگو، مساحت طبقات مختلف آسیب‌پذیری محاسبه شد (جدول ۳).



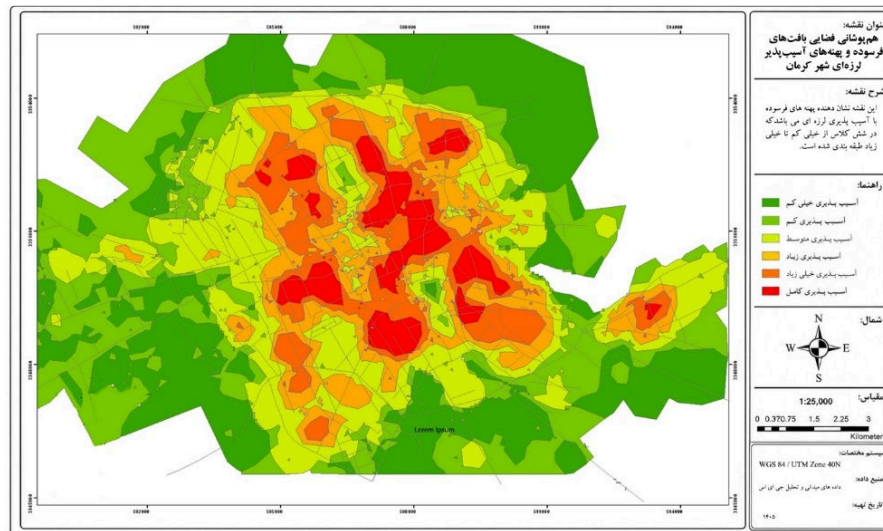
شکل ۴- نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر کرمان

جدول ۳- توزیع مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر کرمان

طبقه آسیب‌پذیری	بدون آسیب	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	آسیب کامل
مساحت (کیلومترمربع)	۲۹	۲۵	۲۳/۴	۲۰/۹	۱۵/۶	۶/۱	۱۰
درصد از مساحت شهر	۲۲/۳	۱۹/۲	۱۸	۱۶/۱	۱۲	۴/۷	۷/۷

نتایج نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط بیشترین گستره را در شهر کرمان به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، بخش قابل توجهی از محدوده شهر در طبقات آسیب‌پذیری زیاد تا آسیب کامل قرار دارد که عمدتاً با نواحی متراکم و فرسوده همپوشانی دارد. این الگو بیانگر تمرکز قابل توجه آسیب‌پذیری لرزه‌ای در برخی پهنه‌های شهری و ضرورت توجه ویژه به آنها در برنامه‌ریزی کاهش خطر و ارتقای تاب‌آوری است.

همپوشانی نقشه آسیب‌پذیری با پراکنش بافت‌های فرسوده (شکل ۵) نشان‌دهنده ارتباط فضایی قوی میان فرسودگی کالبدی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای است.



شکل ۵- هم‌پوشانی فضایی بافت‌های فرسوده و پهنه‌های آسیب‌پذیر لرزه‌ای شهر کرمان

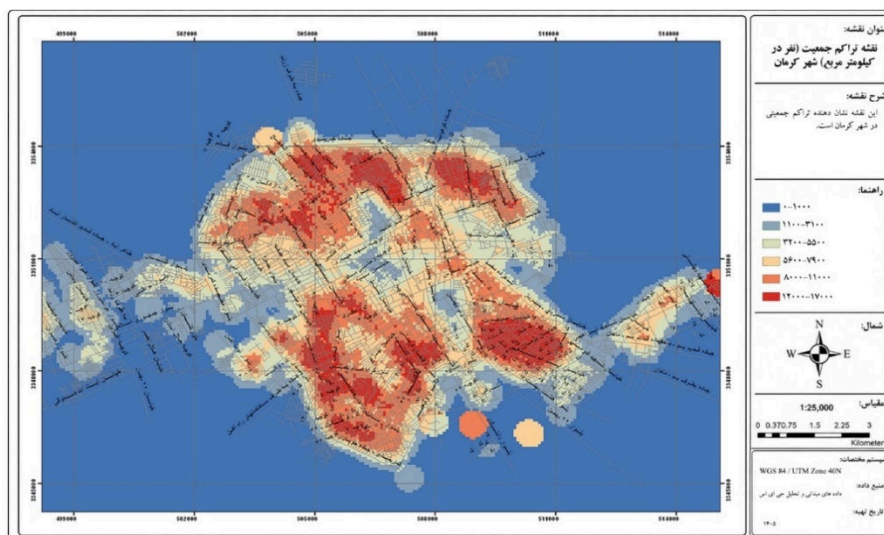
تمرکز ساختمان‌های قدیمی، قطعات ریزدانه و شبکه معابر کم‌عرض در هسته مرکزی شهر موجب شکل‌گیری خوشه‌های متراکم آسیب‌پذیری شده است؛ وضعیتی که می‌تواند در زمان وقوع زمین‌لرزه، علاوه بر افزایش خسارات ساختمانی، دسترسی نیروهای امدادی، فرآیند تخلیه اضطراری و عملکرد زیرساخت‌های حیاتی را با اختلال مواجه سازد. این یافته نشان می‌دهد که بخش عمده ریسک لرزه‌ای شهر نه صرفاً ناشی از ضعف سازه‌ها، بلکه حاصل هم‌زمانی آسیب‌پذیری کالبدی و محدودیت‌های عملکردی در بافت‌های فرسوده است.

تحلیل مواجهه جمعیتی و برآورد تقاضای بالقوه اسکان اضطراری

مواجهه جمعیتی یکی از مؤلفه‌های اصلی ریسک شهری در برابر زمین‌لرزه است، زیرا پیامدهای سانحه علاوه بر آسیب‌پذیری کالبدی، به توزیع فضایی جمعیت در پهنه‌های پرخطر نیز وابسته است. در این پژوهش، لایه مواجهه جمعیتی با استفاده از توزیع

دایسمتریک جمعیت در شبکه 30×30 متر تولید و پس از نرمال‌سازی، به‌عنوان یکی از ورودی‌های محاسبه ریسک فضایی به کار گرفته شد. همچنین، شاخص مواجهه جمعیتی برای سنجش میزان تمرکز جمعیت در پهنه‌های پرخطر محاسبه گردید.

نقشه تراکم جمعیت (شکل ۶) نشان می‌دهد که بیشترین تراکم‌های جمعیتی در بخش‌های مرکزی و میانی شهر قرار دارند. مقایسه این الگو با نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیانگر هم‌پوشانی گسترده تراکم جمعیت با پهنه‌های فرسوده و دارای آسیب‌پذیری بالا است؛ وضعیتی که ظرفیت بروز خسارات انسانی و اجتماعی را در این نواحی افزایش می‌دهد.



شکل ۶- نقشه تراکم جمعیت (نفر در کیلومتر مربع) شهر کرمان

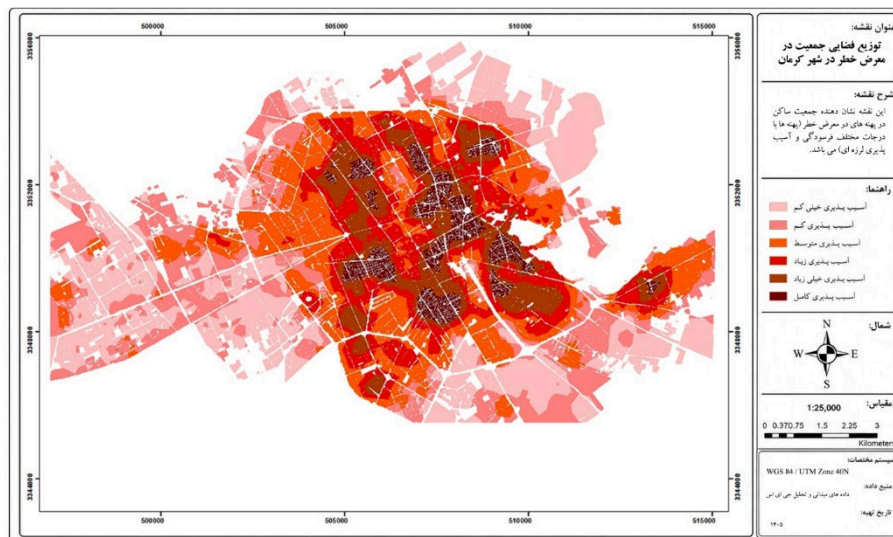
به‌منظور برآورد جمعیت در معرض خطر، نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای با لایه توزیع جمعیت تلفیق و جمعیت هر طبقه محاسبه شد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که اگرچه بیشترین سهم جمعیت در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد، بخش قابل‌توجهی از جمعیت در پهنه‌های آسیب‌پذیری زیاد تا آسیب کامل سکونت دارند. این وضعیت، تمرکز

قابل توجه جمعیت در پهنه‌های پرخطر و در نتیجه نیاز بیشتر به ظرفیت اسکان اضطراری را نشان می‌دهد. همچنین مقدار شاخص مواجهه جمعیتی نیز ۰,۴۸۹ به دست آمد که بیانگر تمرکز نزدیک به نیمی از جمعیت شهر در این پهنه‌های پرخطر است.

جدول ۴- توزیع جمعیت در طبقات مختلف آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر کرمان

طبقه آسیب‌پذیری	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	کامل
جمعیت	۵۳۰,۵۶	۹۹۸,۶۶	۳۴۲,۱۴۶	۶۰۱,۱۲۵	۰۵۳,۷۸	۱۲۶,۵۴
درصد از کل جمعیت	۱۰/۷	۱۲/۷	۲۷/۷	۲۳/۸	۱۴/۸	۱۰/۳

الگوی فضایی جمعیت در معرض خطر (شکل ۷) نشان‌دهنده تمرکز آن در بخش‌های مرکزی، شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی شهر است؛ پهنه‌هایی که هم‌زمان با تراکم جمعیت، فرسودگی کالبدی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالاتری مواجه‌اند. این هم‌پوشانی، فشار بالقوه بر سامانه‌های امداد و اسکان اضطراری را افزایش می‌دهد.



شکل ۷- توزیع فضایی جمعیت در معرض خطر در شهر کرمان

نتایج نشان می‌دهد که ریسک لرزه‌ای شهر کرمان بیش از آنکه ناشی از گستره پهنه‌های آسیب‌پذیر باشد، تحت تأثیر تمرکز جمعیت در این پهنه‌ها قرار دارد. جمعیت در معرض خطر برآوردشده در این مرحله، مبنای محاسبه تقاضای بالقوه اسکان اضطراری و یکی از ورودی‌های اصلی شاخص ریسک فضایی در مراحل بعدی پژوهش است.

محاسبه ریسک فضایی

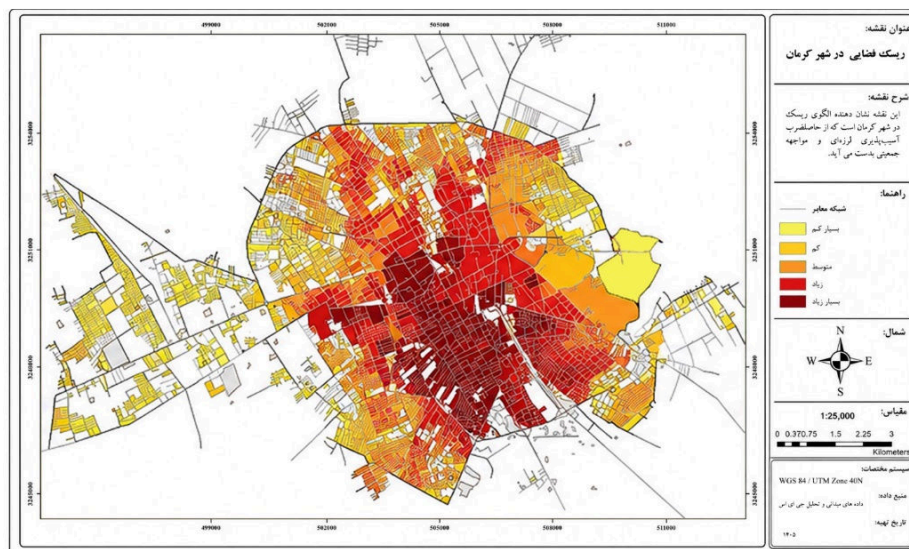
پس از نرمال‌سازی لایه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مواجهه جمعیتی، شاخص ریسک فضایی از حاصل ضرب این دو مؤلفه محاسبه شد. نقشه ریسک فضایی (شکل ۸) نشان می‌دهد که ریسک در شهر کرمان از الگوی فضایی متمرکزی برخوردار است و بیشترین مقادیر آن در هسته مرکزی و بخش‌هایی از نواحی شرقی و جنوب‌شرقی شهر مشاهده می‌شود. این پهنه‌ها عمدتاً با محدوده‌های تاریخی و متراکم شهر انطباق داشته و به دلیل هم‌زمانی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالا و تمرکز جمعیت، به کانون‌های اصلی ریسک تبدیل شده‌اند.

در مقابل، بخش‌های پیرامونی شهر به دلیل تراکم جمعیتی کمتر و شرایط مناسب‌تر کالبدی، در طبقات پایین‌تر ریسک قرار دارند. این الگو نشان می‌دهد که ریسک فضایی در کرمان توزیع یکنواختی ندارد، بلکه در محدوده‌های فرسوده و پرتراکم متمرکز شده است؛ نواحی‌ای که در صورت وقوع زمین‌لرزه، بیشترین احتمال خسارات انسانی، اختلال در عملکرد شهری و افزایش تقاضا برای خدمات امدادی و اسکان اضطراری را خواهند داشت.

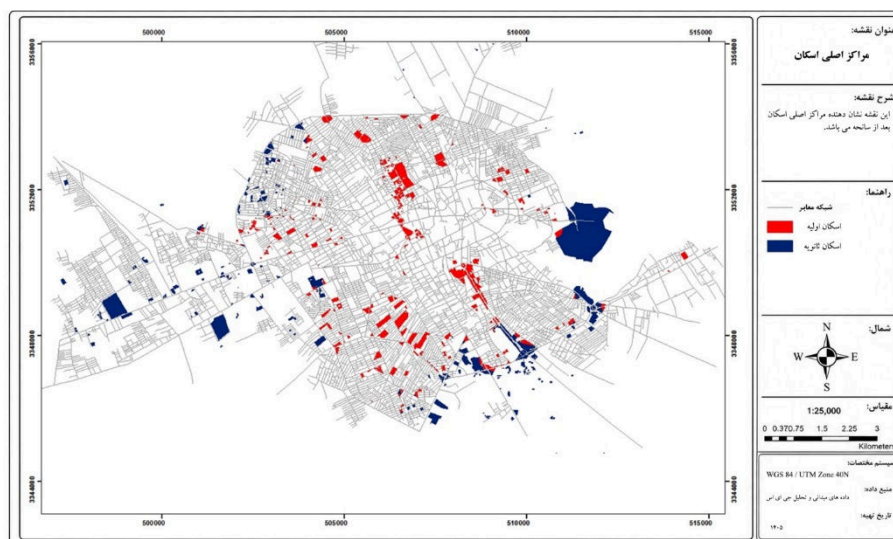
ارزیابی ظرفیت اسکان اضطراری و شکاف تاب‌آوری فضایی

به‌منظور ارزیابی ظرفیت پاسخ فضایی شهر کرمان، فضاهای باز واجد شرایط شامل پارک‌ها، مدارس، مساجد، اراضی بایر و سایر مکان‌های مناسب بر اساس معیارهای پژوهش شناسایی و در دو سطح اسکان موقت و اسکان نیمه‌دائم ارزیابی شدند. نتایج تحلیل فضایی (شکل ۹) نشان داد که ۴۸۳ مکان برای اسکان موقت و ۴۹۷ مکان برای اسکان نیمه‌دائم قابلیت بهره‌برداری دارند. با وجود پراکنش نسبتاً مناسب این مراکز، انطباق

کامل میان الگوی فضایی ریسک و ظرفیت‌های اسکان مشاهده نمی‌شود و برخی از کانون‌های پرخطر همچنان از دسترسی مناسب به فضاهای ایمن برخوردار نیستند.



شکل ۸- نقشه ریسک فضایی شهر کرمان



شکل ۹- توزیع فضایی مراکز اصلی اسکان (مکان‌های پیشنهادی اسکان اولیه و ثانویه)

بر اساس تحلیل مواجهه جمعیتی، ۲۵۷،۷۸۰ نفر در پهنه‌های دارای آسیب‌پذیری زیاد، بسیار زیاد و آسیب کامل سکونت دارند و به‌عنوان جمعیت بالقوه نیازمند اسکان در نظر گرفته شدند. از میان مراکز شناسایی‌شده، ۱۲ سایت اصلی با بیشترین ظرفیت و قابلیت پشتیبانی به‌عنوان مراکز محوری اسکان نیمه‌دائم انتخاب شدند. این مراکز با مساحت تجمعی ۲،۰۵۷،۴۶۷ مترمربع، بر مبنای سرانه ۹،۵ مترمربع به ازای هر نفر، ظرفیت اسکان ۲۱۶،۵۷۶ نفر را فراهم می‌کنند.

مقایسه ظرفیت موجود با تقاضای بالقوه نشان داد که مقدار شاخص ظرفیت اسکان برابر با ۰،۸۴ است که کمتر از آستانه کفایت ($SCI = 1$) بوده و بیانگر کمبود ظرفیت پاسخ در مقیاس شهر است. بر این اساس، شکاف تاب‌آوری فضایی شهر ۴۱،۲۰۴ نفر برآورد شد؛ به این معنا که در سناریوی زلزله با شدت IX مرکالی اصلاح‌شده، بخشی از جمعیت آسیب‌دیده به ظرفیت اسکان مناسب دسترسی نخواهند داشت.

یافته‌ها نشان می‌دهد که محدودیت تاب‌آوری فضایی شهر کرمان تنها ناشی از کمبود ظرفیت اسکان نیست، بلکه از ناهمخوانی مکانی میان کانون‌های ریسک و استقرار زیرساخت‌های پاسخ اضطراری نیز تأثیر می‌پذیرد. این نتیجه بیانگر آن است که افزایش تاب‌آوری شهری، علاوه بر توسعه ظرفیت‌های اسکان، مستلزم بهبود توزیع فضایی این ظرفیت‌ها در ارتباط با پهنه‌های پرخطر است.

وزن‌دهی معیارهای مؤثر بر تاب‌آوری فضایی

نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نشان داد که معیار «ریسک فضایی» با وزن ۰،۶۲ بیشترین سهم را در تبیین تفاوت‌های تاب‌آوری فضایی شهر کرمان دارد، در حالی که معیار «ظرفیت اسکان اضطراری» وزن ۰،۳۸ را به خود اختصاص داد (جدول ۵). این نتایج بیانگر آن است که در ساختار فضایی شهر کرمان، شدت و توزیع ریسک لرزه‌ای نقش غالب را در شکل‌گیری الگوی تاب‌آوری ایفا می‌کند و ظرفیت‌های پاسخ اضطراری عمدتاً به عنوان عاملی تعدیل‌کننده عمل می‌کنند. به عبارت دیگر، اگرچه توسعه ظرفیت‌های

اسکان می‌تواند بخشی از پیامدهای بحران را کاهش دهد، اما کاهش ریسک در کانون‌های آسیب‌پذیر همچنان مهم‌ترین راهبرد ارتقای تاب‌آوری شهری محسوب می‌شود.

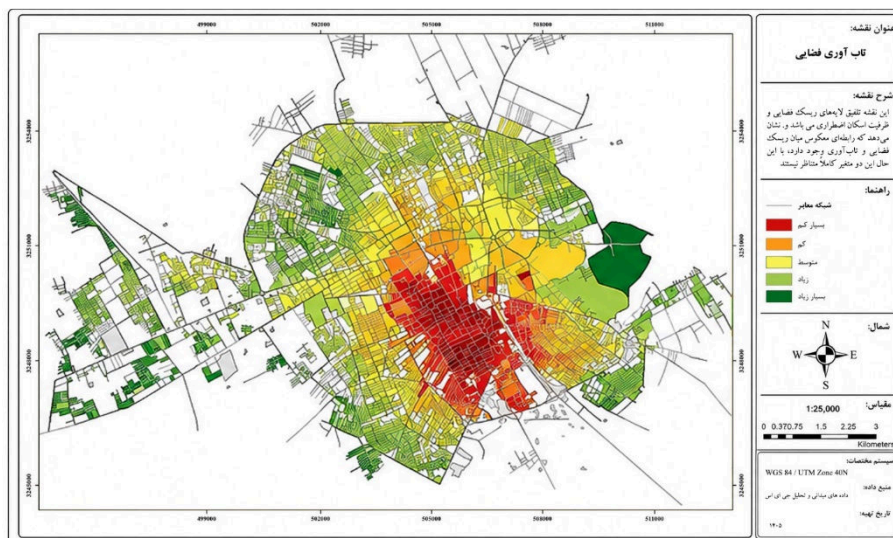
جدول ۵- وزن نهایی معیارهای تاب‌آوری فضایی

معیار	ریسک فضایی	ظرفیت اسکان اضطراری
وزن نهایی	۰/۶۲	۰/۳۸

پهنه‌بندی مکانی تاب‌آوری با استفاده از شاخص ترکیبی SRI (تفکیک مکانی شکاف عددی)

شاخص تاب‌آوری فضایی با تلفیق لایه‌های ریسک فضایی و ظرفیت اسکان اضطراری بر اساس وزن‌های استخراج‌شده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی محاسبه و در پنج طبقه «بسیار کم» تا «بسیار زیاد» طبقه‌بندی شد.

نتایج نشان می‌دهد که تاب‌آوری فضایی در شهر کرمان از الگوی فضایی ناهمگنی تبعیت می‌کند (شکل ۱۰). بالاترین سطوح تاب‌آوری عمدتاً در نواحی پیرامونی شهر مشاهده می‌شود؛ پهنه‌هایی که به دلیل ساختار کالبدی مناسب‌تر، تراکم جمعیتی کمتر و دسترسی مطلوب‌تر به فضاهای باز، ظرفیت بیشتری برای پاسخ و بازیابی اولیه پس از سانحه دارند. در مقابل، هسته مرکزی و بخش‌های تاریخی شهر در پایین‌ترین سطوح تاب‌آوری قرار گرفته‌اند؛ محدوده‌هایی که هم‌زمان از فرسودگی کالبدی، آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالا، تمرکز جمعیت و محدودیت نسبی ظرفیت اسکان اضطراری رنج می‌برند.



شکل ۱۰- نقشه شاخص تاب‌آوری فضایی در شهر کرمان

نتایج کمی (جدول ۶) نشان می‌دهد که ۴۰,۰۴ کیلومترمربع (۳۰,۸ درصد) از مساحت شهر در طبقات «بسیار کم» و «کم» تاب‌آوری قرار دارد، در حالی که ۵۹,۳۲ کیلومترمربع (۴۵,۶ درصد) در طبقات «زیاد» و «بسیار زیاد» واقع شده است. همچنین، طبقه «متوسط» با ۳۰,۶۴ کیلومترمربع (۲۳,۶ درصد) به‌عنوان پهنه انتقالی میان نواحی کم‌تاب‌آور و برخوردار از ظرفیت پاسخ بالاتر عمل می‌کند.

جدول ۶- توزیع فضایی طبقات شاخص تاب‌آوری فضایی در شهر کرمان

بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم	طبقه تاب‌آوری فضایی
۲۴/۸۶	۳۴/۴۶	۳۰/۶۴	۲۴/۰۱	۱۶/۰۳	مساحت (کیلومترمربع)
۱۹/۱۲	۲۶/۵۱	۲۳/۵۷	۱۸/۴۷	۱۲/۳۳	درصد از کل مساحت

تحلیل هم‌زمان نقشه‌های ریسک فضایی و تاب‌آوری فضایی نشان می‌دهد که رابطه میان این دو شاخص اگرچه عمدتاً معکوس است، اما کاملاً متناظر نیست. در برخی نواحی

با ریسک متوسط، دسترسی مناسب به فضاهای باز و ظرفیت‌های اسکان اضطراری موجب ارتقای تاب‌آوری شده است. این یافته نشان می‌دهد که تاب‌آوری فضایی صرفاً معکوس ریسک نیست، بلکه حاصل برهم‌کنش میان شدت ریسک و ظرفیت پاسخ فضایی شهر است.

در مجموع، نتایج بیانگر شکل‌گیری یک الگوی دوگانه مرکز-پیرامون در شهر کرمان است. هسته مرکزی و بافت‌های تاریخی به دلیل تمرکز هم‌زمان ریسک لرزه‌ای و محدودیت ظرفیت پاسخ، در پایین‌ترین سطوح تاب‌آوری قرار گرفته‌اند، در حالی که نواحی پیرامونی به واسطه شرایط کالبدی مناسب‌تر و دسترسی بهتر به زیرساخت‌های پاسخ اضطراری، تاب‌آوری بالاتری را نشان می‌دهند. این الگو نشان می‌دهد که نابرابری فضایی در توزیع ظرفیت‌های پاسخ، به اندازه توزیع ریسک، در شکل‌گیری تاب‌آوری شهری نقش دارد.

تحلیل حساسیت و ارزیابی عدم قطعیت شاخص تاب‌آوری فضایی

به منظور ارزیابی پایداری شاخص تاب‌آوری فضایی، نتایج چارچوب سه‌سطحی تحلیل حساسیت و عدم قطعیت در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- خلاصه نتایج تحلیل حساسیت و عدم قطعیت شاخص تاب‌آوری فضایی

سطح تحلیل	آزمون / روش	شاخص سنجش	نتیجه
۱	تحلیل حساسیت (۷ سناریوی وزنی)	حداکثر تغییر مساحت طبقه «بسیار کم»	۷,۲٪
۲	روش‌های جایگزین نرمال‌سازی	ضریب همبستگی اسپیرمن (نسبت به Min-Max)	$< ۰,۹۵$
۲	روش‌های جایگزین تجمیع	ضریب همبستگی پیرسون (نسبت به WLC)	$< ۰,۹۴$
۳	شبیه‌سازی مونت‌کارلو (۱۰۰۰ تکرار)	نسبت سلول‌ها با ضریب تغییرات $< (CV)$	۸۵٪

نتایج تحلیل حساسیت OAT (جدول ۷) نشان داد که تغییر وزن معیارها تنها اثر محدودی بر نتایج مدل دارد. حتی در سناریوهای حدی، بیشترین تغییر مساحت طبقه «بسیار کم تاب‌آوری» ۷,۲ درصد نسبت به حالت پایه بود و دامنه تغییرات این طبقه تنها از ۱۱,۴۴ تا ۱۳,۲۲ درصد مساحت شهر را دربر گرفت. این نتایج نشان می‌دهد که الگوی فضایی شناسایی‌شده، به‌ویژه تمرکز نواحی کم‌تاب‌آور در هسته مرکزی و بافت‌های تاریخی، نسبت به تغییرات وزن معیارها پایدار است.

جدول ۸- نتایج تحلیل حساسیت OAT در هفت سناریوی وزنی و تأثیر آن بر مساحت طبقه

«بسیار کم تاب‌آوری»

شماره سناریو	توضیح سناریو	وزن ریسک فضایی	وزن ظرفیت اسکان	مساحت طبقه بسیار کم تاب‌آوری (درصد از کل شهر)	درصد تغییر نسبت به حالت پایه
حالت پایه	وزن‌های حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	۰/۶۲	۰/۳۸	۱۲/۳۳	۰,۰٪
سناریوی ۱	افزایش ۱۰٪ وزن ریسک	۰/۶۸۲	۰/۳۱۸	۱۲/۷۸	+۳,۶٪
سناریوی ۲	کاهش ۱۰٪ وزن ریسک	۰/۵۵۸	۰/۴۴۲	۱۱/۸۸	-۳,۶٪
سناریوی ۳	افزایش ۲۰٪ وزن ریسک	۰/۷۴۴	۰/۲۵۶	۱۳/۲۲	+۷,۲٪ (حداکثر افزایش)
سناریوی ۴	کاهش ۲۰٪ وزن ریسک	۰/۴۹۶	۰/۵۰۴	۱۱/۴۴	-۷,۲٪ (حداکثر کاهش)
سناریوی ۵	وزن‌های مساوی	۰/۵۰	۰/۵۰	۱۲/۰	-۲,۷٪
سناریوی ۶	وزن‌های معکوس (جابه‌جایی کامل)	۰/۳۸	۰/۶۲	۱۲/۹۰	+۴,۶٪

مقایسه روش‌های جایگزین نرمال‌سازی و تجمیع نشان داد که نتایج حاصل از آن‌ها با روش پایه همخوانی بالایی دارند. ضرایب همبستگی اسپیرمن بین روش Min-Max و روش‌های جایگزین بین ۰,۹۶ تا ۰,۹۷ و ضریب همبستگی پیرسون بین روش جمع وزنی و روش تلفیق ضربی ۰,۹۴ به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که الگوی نهایی تاب‌آوری فضایی به انتخاب روش نرمال‌سازی یا روش تجمیع حساسیت قابل توجهی ندارد.

نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو (۱۰۰۰ تکرار) نشان داد که در ۸۵ درصد سلول‌های شهری، ضریب تغییرات کمتر از ۰,۱۵ است که بیانگر عدم قطعیت پایین و قابلیت اتکای مناسب مدل است. اگرچه بیشترین عدم قطعیت در بخش‌هایی از هسته مرکزی و جنوب شرقی شهر مشاهده شد، الگوی فضایی تاب‌آوری و اولویت‌بندی پهنه‌های بحرانی در تمامی تکرارها پایدار باقی ماند.

در مجموع، نتایج سه سطح تحلیل نشان می‌دهد که شاخص پیشنهادی تاب‌آوری فضایی از پایداری روش‌شناختی و قابلیت اتکای مناسبی برخوردار است و تغییرات وزن معیارها، انتخاب روش‌های محاسباتی و عدم قطعیت داده‌های ورودی، تأثیر محدودی بر الگوی فضایی نهایی تاب‌آوری دارند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که تمرکز ریسک لرزه‌ای در هسته مرکزی و تاریخی کرمان را نمی‌توان به ضعف سازه‌ای ساختمان‌ها تقلیل داد؛ ریسک محصول برهم‌کنش فرسودگی کالبدی، تمرکز جمعیتی و محدودیت ظرفیت پاسخ است — تبیینی همسو با نگاه بلیکی و همکاران (۲۰۱۴)، کاتر و همکاران^۱ (۲۰۱۲) و گادشالک^۲ (۲۰۰۳) به ریسک به‌مثابه محصول تعامل ساختارهای اجتماعی، فضایی و کالبدی. اهمیت این همخوانی فراتر

1. Cutter et al
2. Godschalk

از تأیید نظری است: ویلدر^۱ (۲۰۱۸) و بیسواس و ناوتیال^۲ (۲۰۲۳) نشان داده‌اند که چارچوب فشار-رهایی کمتر به الگوهای فضایی قابل‌اندازه‌گیری در مقیاس محله ترجمه شده است؛ سهم اصلی پژوهش حاضر، ترکیب صریح آسیب‌پذیری، مواجهه و ظرفیت پاسخ در یک شاخص واحد فضایی، گامی عملی در پاسخ به همین خلأ است. با این حال، بیسواس و ناوتیال (۲۰۲۳) هشدار داده‌اند که ترکیب متغیرهای کالبدی ناهمگن در یک شاخص می‌تواند سهم نسبی هر عامل را پنهان کند؛ بنابراین «آسیب‌پذیری بالا» ی گزارش‌شده در کرمان لزوماً به معنای غلبه یک عامل واحد نیست و تجزیه آن موضوع مطالعات آتی است.

تکرار الگوی تمرکز آسیب‌پذیری در بافت‌های تاریخی، هم در کرمان و هم در تهران (عامری و همکاران، ۲۰۲۴) و در مطالعات گرچک و گوون^۳، نشان می‌دهد این الگو بیش از یک ویژگی موردی، بازتاب یک ساختار عام در توسعه شهری ایران است. نکته نظری مهم‌تر اما در نقش مواجهه است: قرارگیری ۴۸٫۹ درصد جمعیت شهر در پهنه‌های پرخطر نشان می‌دهد ریسک بیش از گستره فضایی خطر، از تمرکز جمعیت متأثر است — یافته‌ای که با تأکید کوكس و همکاران^۴ (۲۰۱۹) و ستولت و همکاران^۵ (۲۰۲۴) بر لزوم تحلیل پیوسته مواجهه جمعیتی (و نه شمارش اداری) همسو است. حاصل این هم‌زمانی، «ریسک مضاعف» است: آسیب‌پذیری کالبدی و تراکم جمعیتی یکدیگر را تقویت می‌کنند، وضعیتی که از منظر سیاست‌گذاری دشوارتر و در عین حال ضروری‌تر از توزیع مستقل این دو مؤلفه در نواحی متفاوت است.

یافته ظرفیت اسکان — کفایت نسبی ظرفیت کل در برابر عدم‌انطباق فضایی آن با کانون‌های ریسک — با نتایج ژانگ و همکاران^۶ (۲۰۲۳)، ژو و همکاران^۱ (۲۰۲۳) و هی و

-
1. Wilder
 2. Biswas and Nautiyal
 3. Gerçek and Güven
 4. Koks et al
 5. Stolte et al
 6. Zhang et al

شیه^۲ (۲۰۲۲) همسو است، اما پژوهش حاضر یک گام فراتر می‌رود: نشان می‌دهد ظرفیت کافی به‌تنهایی کفایت نمی‌کند اگر با ریسک هم‌مکان نباشد.

وزن بالاتر ریسک فضایی (۰,۶۲) نسبت به ظرفیت اسکان (۰,۳۸) در شکل‌گیری تاب‌آوری، همسو با شریفی و یاماگاتا^۳ (۲۰۱۶)، کاتر و همکاران (۲۰۱۴)، میراو نیوول^۴ (۲۰۱۹) و شی و همکاران^۵ (۲۰۲۰)، نشان می‌دهد در شهرهای با آسیب‌پذیری انباشته بالا، کاهش ریسک پایه اثرگذاری بیشتری از افزایش صرف ظرفیت پاسخ دارد؛ ظرفیت پاسخ تنها در بستری با ریسک کنترل‌شده اثربخش است. پایداری این وزن‌بندی در برابر تغییرات ۱۰ درصدی - آزمونی که در بررسی‌های تطبیقی شاخص‌های ترکیبی غالباً غایب است (Beccari, 2016; Wehbe & Baroud, 2024) - پشتیبان‌دهی می‌دهد که الگوی فضایی به‌دست‌آمده بازتاب ساختار واقعی شهر است، نه صرفاً قضاوت خبرگان؛ هرچند این آزمون به تغییرات کوچک محدود بوده و روش‌های تجمیع جایگزین را نبوشانده است.

مهم‌ترین دستاورد نظری پژوهش آن است که تاب‌آوری فضایی را نمی‌توان معکوس ساده ریسک تلقی کرد: پهنه‌هایی با ریسک مشابه، بسته به دسترسی به ظرفیت پاسخ، تاب‌آوری متفاوتی نشان می‌دهند — یافته‌ای که الگوی مرکز-پیرامون کرمان را در امتداد «ناهمخوانی فضایی میان تاب‌آوری و ریسک بلایا»^۶ ی‌وی و همکاران^۶ (۲۰۲۴) در چنگدو قرار می‌دهد و، با تکرار در دو بستر فرهنگی و نهادی کاملاً متفاوت، این ناهمخوانی را از یک یافته موردی به یک الگوی محتمل در کلان‌شهرهای دارای هسته تاریخی متراکم ارتقا می‌دهد. این یافته هر دو رویکرد رایج ادبیات (تلقی تاب‌آوری به‌عنوان معکوس ریسک، یا تحلیل کاملاً مستقل آن (Stolte et al., 2024) را دارای توان تبیینی محدود نشان می‌دهد. اهمیت عملی این نکته را می‌توان در زلزله کهرمان‌ماراش دید، جایی که با

-
1. Zhu et al
 2. He and Xie
 3. Sharifi & Yamagata
 4. Meerow and Newell
 5. Shi et al
 6. Wei et al

وجود واکنش نسبتاً سریع نهادی، ظرفیت واقعی پاسخ با مقیاس فاجعه هم‌خوانی نداشت (Galasso & Opabola, 2024; Hussain et al., 2023)

ارزش‌افزوده اصلی پژوهش، فراتر از تأیید مجدد تمرکز ریسک در بافت تاریخی، ارائه چارچوبی یکپارچه و آزموده‌شده در برابر عدم قطعیت (برخلاف بسیاری شاخص‌های ترکیبی پیشین که فاقد چنین آزمونی معرفی شده‌اند؛ بکاری، ۲۰۱۶) است که دو جریان نسبتاً مستقل ارزیابی ریسک و مطالعات ظرفیت پاسخ را در یک سنجه واحد ادغام می‌کند. کاربرد این یافته ایجاب می‌کند مداخلات کاهش ریسک (مقاوم‌سازی، بازآفرینی، ارتقای نفوذپذیری معابر) و بازتوزیع ظرفیت اسکان هم‌زمان و هم‌مکان دنبال شوند، نه به‌صورت دو مسیر موازی، الگویی که خود این پژوهش نشان داد در ادبیات پیشین عمدتاً غایب بوده است.

از منظر سیاست‌گذاری، این یافته‌ها لزوماً در تعارض با سیاست‌های موجود نوسازی و احیای بافت‌های فرسوده و تاریخی نیست، بلکه بر ضرورت اجرای هدفمند و مکان‌محور آن‌ها تأکید دارد. در سیاست‌های موجود، افزایش تراکم و ظرفیت جمعیت‌پذیری در بافت‌های فرسوده به تأمین خدمات عمومی، فضای سبز، الزامات شبکه معابر و شرایط کالبدی وابسته شده و بافت‌های تاریخی نیز تابع ضوابط ویژه حفاظت و احیا هستند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که این الزامات در پهنه‌های پرریسک باید هم‌زمان با ارزیابی ظرفیت پاسخ و اسکان اضطراری مورد توجه قرار گیرند. بر این اساس، در بخش‌هایی از هسته تاریخی کرمان که تمرکز آسیب‌پذیری و جمعیت با محدودیت ظرفیت پاسخ همراه است، نوسازی و افزایش ظرفیت جمعیت‌پذیری نباید صرفاً بر مبنای ظرفیت کالبدی زمین تعیین شود، بلکه باید با ارتقای هم‌زمان نفوذپذیری شبکه معابر، ظرفیت اسکان اضطراری و دسترسی به خدمات بحران همراه باشد. بنابراین، ارزش افزوده رویکرد حاضر در جایگزینی سیاست‌های موجود نیست، بلکه در فراهم کردن مبنای فضایی برای اولویت‌بندی و هماهنگ‌سازی اجرای آن‌ها با الگوی واقعی ریسک و ظرفیت پاسخ در شهر است.

سه محدودیت تعمیم‌پذیری نتایج را مشروط می‌کنند: نخست، چارچوب فقط ابعاد کالبدی-فضایی را پوشش می‌دهد و از ابعاد اجتماعی، اقتصادی و حکمرانی تاب‌آوری صرف‌نظر می‌کند؛ دوم، فرض ثابت‌بودن شبکه دسترسی شکاف واقعی را نظام‌مند دست‌کم برآورد می‌کند؛ سوم، ماهیت مقطعی داده‌ها پویایی‌های زمانی رشد شهری را نشان نمی‌دهد. رفع این محدودیت‌ها مستلزم مدل‌سازی پویا و سناریو محور، مشابه رویکرد وانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۴) و لئو و گو^۲ (۲۰۲۵)، و آزمون این چارچوب در سایر شهرهای لرزه‌خیز برای سنجش اعتبار بیرونی آن است.

در مجموع، تاب‌آوری فضایی نه صرفاً حاصل کاهش ریسک و نه صرفاً نتیجه افزایش ظرفیت پاسخ، بلکه برآیند تعامل و توازن میان این دو مؤلفه است؛ شناسایی و کاهش هدفمند ناهماهنگی میان کانون‌های ریسک و ظرفیت پاسخ می‌تواند بستری برای گذار از مدیریت واکنشی بحران به برنامه‌ریزی پیش‌نگرانه و ریسک‌محور در شهرهای لرزه‌خیز فراهم سازد.

اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

ORCID

Mitra Ghorbi



<https://orcid.org/0000-0002-6967-3962>

-
1. Wang et al
 2. Liu and Guo

منابع

- Aghaie, S., & Karimi, B. (2022). *Location-allocation-routing for emergency shelters based on geographical information system (ArcGIS) by NSGA-II (case study: Earthquake occurrence in Tehran (District-1))*. Socio-Economic Planning Sciences, 84, 101420.
- Ahad Nejad, M., Mohamadi Torkamani, H., & Khoshrooy, G. (2017). *Urban social vulnerability modeling to earthquake using Analytic Hierarchy Process and ArcGIS software (case study: Zone 1 of Tabriz City)*. Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning, 1(2), 1-30. (In Persian)
- Aitsi-Selmi, A., Murray, V., Wannous, C., Dickinson, C., Johnston, D., Kawasaki, A., Stevance, A.-S., & Yeung, T. (2016). *Reflections on a science and technology agenda for 21st century disaster risk reduction: Based on the scientific content of the 2016 UNISDR science and technology conference on the implementation of the Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. International Journal of Disaster Risk Science, 7(1), 1-29.
- Alexander, D. (2012). *Models of social vulnerability to disasters. RCCS Annual Review*. A selection from the Portuguese journal Revista Crítica de Ciências Sociais(4).
- Amrei, S. A. R., Goodarzi, G., & Esmailpour Zanjani, N. (2024). *Analysis of Seismic Risk and Vulnerability of the Historical Context of Tehran with Emphasis on Resilience Zoning*. International Conference on Computational Science and Its Applications,
- Anjomshoa, E., & Heravi, G. (2025). *Pre-disaster planning and preparedness for urban seismic Resilience: Evaluating critical influential factors for temporary shelter site selection*. Habitat International, 163, 103478.
- Ansari, A., El-Hussain, I., Deif, A., Mohamed, A. M., Al-Shijbi, Y., Al-Jabri, K., Mandhaniya, P., Lee, J.-H., Alluqmani, A. E., & Mutaz, E. (2025). *Integrated GIS-AHP based assessment of earthquake vulnerability and risk for urban residential buildings in Muscat, Sultanate of Oman*. Scientific Reports, 15(1), 31995.
- Bastos Moroz, C., & Thieken, A. H. (2024). *Urban growth and spatial segregation increase disaster risk: lessons learned from the 2023 disaster on the North Coast of São Paulo, Brazil*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24(9), 3299-3314.
- Beccari, B. (2016). *A comparative analysis of disaster risk, vulnerability and resilience composite indicators*. PLoS currents, 8, ecurrents. dis. 453df025e434b682e9737f95070f95079b95970.

- Birkmann, J. (2006). *Measuring the un-measurable. The challenge of vulnerability*.
- Biswas, S., & Nautiyal, S. (2023). *A review of socio-economic vulnerability: The emergence of its theoretical concepts, models and methodologies*. Natural Hazards Research, 3(3), 563-571.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- Cutter, S. L. (2012). *Vulnerability to environmental hazards*. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 71-82). Routledge.
- Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2014). *The geographies of community disaster resilience*. Global environmental change, 29, 65-77.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). *Social vulnerability to environmental hazards*. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 115-132). Routledge.
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). *Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions*. Journal of Homeland Security & Emergency Management, 7(1).
- Del Pinto, M., Chmutina, K., Palaiologou, F., & Boshier, L. (2024). *The role of the Spatial Network in Urban Disaster Risk variations: reimagining the notion of spatial vulnerability at the Urban Scale*. International Journal of Disaster Risk Science, 15(3), 303-316.
- Duan, X., & Fei, W. (2025). *Assessment of the impact of temporal and spatial factors on the emergency evacuation capacity of external spaces in high-density urban communities during earthquake disasters*. International journal of disaster risk reduction, 105760.
- Ermagun, A., Smith, V., & Janatabadi, F. (2024). *High urban flood risk and no shelter access disproportionately impacts vulnerable communities in the USA*. Communications Earth & Environment, 5(1), 2.
- Firoozi, M. A., Maleki, S., Movaddat, E., & Firoozi, M. A. (2014). *Assessment and ranking of social vulnerability of cities against earthquakes using TOPSIS model and GIS (Case study: Yazd City)*. Spatial Planning and Geomatics, 18(3), 99-124. (In Persian)
- Galasso, C., & Opabola, E. A. (2024). *The 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence: finding a path to a more resilient, sustainable, and equitable society*. Communications Engineering, 3(1), 24.
- Gerçek, D., & Güven, İ. T. (2023). *Urban earthquake vulnerability assessment and mapping at the microscale based on the catastrophe progression method*. International Journal of Disaster Risk Science, 14(5), 768-781.

- Godschalk, D. R. (2003). *Urban hazard mitigation: Creating resilient cities*. Natural hazards review, 4(3), 136-143.
- Hedayatifard, M., & Rozenblat, C. (2019). *Testing the relationship between compactness of the economic activity system and resilience of urban regions: Case study of Kerman Province counties*. Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning, 4(8), 111-144.
<https://doi.org/10.22054/urdp.2021.49891.1184>. (In Persian)
- He, L., & Xie, Z. (2022). *Optimization of urban shelter locations using bi-level multi-objective location-allocation model*. International journal of environmental research and public health, 19(7), 4401.
- Hussain, E., Kalaycıoğlu, S., Milliner, C. W., & Çakir, Z. (2023). *Preconditioning the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) earthquake disaster*. Nature Reviews Earth & Environment, 4(5), 287-289.
- IPCC. (2022). *impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. O., Roberts, DC, Tignor, M., Poloczanska, ES, Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al., Eds, 3056.
- Jafari, F., Hatami, A., & Noori, S. (2017). *The evolution of socio-physical vulnerability versus earthquake: Case study of Counties of Ardabil Province*. Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning, 1(2), 173-194. (In Persian)
- Kamranzad, F., Memarian, H., & Zare, M. (2020). *Earthquake risk assessment for Tehran, Iran*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(7), 430.
- Kapucu, N., Ge, Y., Rott, E., & Isgandar, H. (2024). *Urban resilience: Multidimensional perspectives, challenges and prospects for future research*. Urban Governance, 4(3), 162-179.
- Kaya, A. Y., Sajjad, M., & Dedekorkut-Howes, A. (2025). *Downscaling Urban Disaster Resilience: Toward Building-Scale Geo-Information Modeling and Machine Learning Assisted Resilience Knowledge Systems*. Transactions in GIS, 29(8), e70153.
- Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Vousedoukas, M., Fraser, S. A., Hall, J., & Hallegatte, S. (2019). *A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets*. Nature communications, 10(1), 2677.
- Li, Z., Khudhair, A., & Li, H. (2025). *Holistic decision-making for optimal siting of urban earthquake emergency shelters: An integrated ontology and fuzzy-AHP approach*. International Journal of Fuzzy Systems, 27(7), 2094-2121.
- Liang, Y., Xie, Z., Chen, S., Xu, Y., Xin, Z., Yang, S., Jian, H., & Wang, Q. (2023). *Spatial accessibility of urban emergency shelters based on Ga2SFCA*

- and Its improved method: A case study of Kunming, China. Journal of Urban Planning and Development*, 149(2), 05023013.
- Liu, Z., & Guo, C. (2025). *Real-Time Simulation and Resilience Assessment of Post-Earthquake Emergency Highway Transportation Networks*. *Computation*, 13(8), 188.
 - Meerow, S., & Newell, J. P. (2019). *Urban resilience for whom, what, when, where, and why?* *Urban geography*, 40(3), 309-329.
 - Parizi, S. M., Taleai, M., & Sharifi, A. (2022). *A GIS-based multi-criteria analysis framework to evaluate urban physical resilience against earthquakes*. *Sustainability*, 14(9), 5034.
 - Parizi, S. M., Taleai, M., & Sharifi, A. (2024). *A spatial evaluation framework of urban physical resilience considering different phases of disaster risk management*. *Natural Hazards*, 120(14), 13041-13076.
 - Rahimi, F., Sadeghi-Niaraki, A., Ghodousi, M., & Choi, S.-M. (2025). *Spatial-temporal modeling of urban resilience and risk to earthquakes*. *Scientific Reports*, 15(1), 8321.
 - Sarı, B. (2025). *Disaster management following the great Kahramanmaraş earthquakes in 2023, Türkiye*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(6), 2031-2043.
 - Sharifi, A. (2020). *Urban resilience assessment: Mapping knowledge structure and trends*. *Sustainability*, 12(15), 5918.
 - Sharifi, A. (2023). *Resilience of urban social-ecological-technological systems (SETS): A review*. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104910.
 - Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2016). *Urban resilience assessment: Multiple dimensions, criteria, and indicators*. In *Urban resilience: A transformative approach* (pp. 259-276). Springer.
 - Shi, P., Ye, T., Wang, Y., Zhou, T., Xu, W., Du, J., Wang, J. a., Li, N., Huang, C., & Liu, L. (2020). *Disaster risk science: A geographical perspective and a research framework*. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11(4), 426-440.
 - Stolte, T. R., Koks, E. E., de Moel, H., Reimann, L., van Vliet, J., de Ruiter, M. C., & Ward, P. J. (2024). *VulneraCity—drivers and dynamics of urban vulnerability based on a global systematic literature review*. *International journal of disaster risk reduction*, 108, 104535.
 - Tate, E. (2012). *Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis*. *Natural Hazards*, 63(2), 325-347.
 - UNDRR. (2017). *Terminology on disaster risk reduction*. United States International, Geneva.

- UNDRR. (2022). *Global assessment report on disaster risk reduction 2022: Our world at risk: Transforming governance for a resilient future*. UN.
- Wang, T., Xu, T., Wang, Z., Wang, H., Kang, J., Qiu, L., Xue, S., Fang, Z., & Zhang, Y. (2025). *Where do resilient cities grow? Exploring the pathways and mechanisms of resilience development*. Sustainable Cities and Society, 106856.
- Wang, X., Guan, M., Dong, C., Wang, J., Fan, Y., Xin, F., & Lian, G. (2022). *A multi-indicator evaluation method for spatial distribution of urban emergency shelters*. Remote Sensing, 14(18), 4649.
- Wang, Z., Cheng, J., & Xu, C. (2024). *Earthquake scenario-specific framework for spatial accessibility analysis (SAA) of emergency shelters: a case study in Xichang City, Sichuan Province, China*. Frontiers in Earth Science, 12, 1376900.
- Wehbe, C., & Baroud, H. (2024). *Limitations and considerations of using composite indicators to measure vulnerability to natural hazards*. Scientific Reports, 14(1), 19333.
- Wei, Y., Kidokoro, T., Seta, F., & Shu, B. (2024). *Spatial-temporal assessment of urban resilience to disasters: A case study in Chengdu, China*. Land, 13(4), 506.
- Wilder, J. (2018). *Operationalizing the Pressure and Release Theoretical Framework Using Risk Ratio Analysis to Measure Vulnerability and Predict Risk from Natural Hazards in the Tampa, FL Metropolitan Area* University of South Florida.
- Zhang, Z., Hu, Y., Lu, W., Cao, W., & Gao, X. (2023). *Spatial accessibility analysis and location optimization of emergency shelters in Deyang*. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 14(1), 2213809.
- Zhu, W., Xing, H., & Kang, W. (2023). *Spatial layout planning of urban emergency shelter based on sustainable disaster reduction*. International journal of environmental research and public health, 20(3), 2127.

استناد به این مقاله: قربی، میترا. (۱۴۰۵). تحلیل تاب‌آوری فضایی شهری در برابر زلزله با تأکید بر شکاف ظرفیت اسکان اضطراری: مطالعه موردی شهر کرمان، فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای، ۱۱(۳۸)، ۱۵۵-۱۹۹.



Urban and Regional Development Planning is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.