Journal of Sustainable City

Online ISSN: 4 7 6 6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

Spatial Risk Assessment of Key Urban Assets Using a Passive Defense Approach and the FEMA Model: A case study of Sirjan City

Somayeh Mohammadi Abadeh [1], Rahim Sarver [2] ✉, Ali Tavakolan [3], Sayed Musa PourMousavi [4]

1. *Department of Geography and Urban Planning, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
Email: mohammadisamin60@gmail.com
2. (Corresponding Author) *Department of Geography and Urban Planning, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
Email: r-sarvar@srbiau.ac.ir
3. *Department of Geography and Urban Planning, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
Email: a.tavaolan@srbiau.ac.ir
4. *Department of Geography and Urban Planning, Imam Hussein University, Tehran, Iran*
Email: mpmousavi@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received:
14 March 2026
Received in revised form:
5 June 2026
Accepted:
30 June 2026
Available online:
3 August 2026

Keywords:
Risk Assessment,
Passive Defense,
Critical Urban Assets,
FEMA,
GIS.

ABSTRACT

This study assesses the spatial risk of key urban assets in Sirjan city from a passive-defense perspective by integrating FEMA risk logic, AHP weighting, and GIS. The study aims to identify priority assets and locations under deliberate human-made threats. Data were collected from documentary sources, spatial layers, and expert questionnaires. Among the 30 experts invited to participate, 28 valid responses were received and analyzed. Asset value, threat, and vulnerability were each measured through four sub-indicators on a 1–10 scale. AHP weights were derived from geometrically aggregated expert judgments with acceptable consistency, and risk was calculated as R = A × Tbase × V and mapped in GIS. Thirty-five assets were evaluated. Transportation stations (9.796), the railway station (9.124), and the railway line (8.410) had the highest asset values. Terrorist bombing ranked first among threats (7.511) and was selected as the baseline scenario. The Special Economic Zone (7.70), broadcasting center (7.66), and railway line (7.38) exhibited the highest vulnerability. The railway line (466.18), transportation stations (460.60), railway station (441.34), Special Economic Zone (433.76), and broadcasting center (402.74) were classified as very high risk. The AHP-FEMA-GIS framework provides a practical basis for spatially prioritizing passive-defense interventions, particularly for transportation and strategic economic assets.

Citation: Taghavi, M. A., Elahi, M., & Pakzad, Sh. (2026). Explaining the Impact of Social Events on the Attractiveness of Urban Spaces for Presence: A Case Study of Qazvin. *Journal of Sustainable City,* 9(2), 121-139. http://doi.org/10.22034/jsc.2026.586433.1920

© The Author(s)

Publisher: Iranian Geography and Urban Planning Association

Extended Abstract

Introduction

Critical urban assets underpin the operation of modern cities, as transportation, energy, communications, health care, public services, economic activity, emergency response, and urban governance all rely on their sustained functionality. Disruption of one critical asset may extend beyond the affected facility because urban infrastructures are spatially and functionally interconnected. Damage to a single component can therefore generate cascading social, economic, security, and operational consequences. For this reason, identifying critical assets and determining their relative risk are important for urban resilience, asset management, crisis planning, and passive defense. In this study, risk is defined as the combined effect of asset value, threat level, and vulnerability, allowing scarce protective resources to be directed toward the assets and locations where intervention is most urgent.

Passive defense is particularly relevant because its purpose is to reduce the vulnerability of people, buildings, equipment, infrastructure, and essential urban services without relying on armed action. Asset management identifies what should be protected; threat assessment determines what may endanger it; vulnerability analysis indicates how susceptible the asset is to disruption; and passive-defense planning translates these findings into preventive and protective measures. An integrated risk assessment therefore connects asset management, urban resilience, and passive defense. Sirjan was selected as the case study because of its strategic location and concentration of transportation, industrial, economic, communication, energy, health, and service assets. The city lies on major north-south and east-west corridors and is connected to the Gol-e-Gohar mining complex, the Sirjan Special Economic Zone, the airport, railway network, industrial facilities, fuel storage infrastructure, communication centers, and health services. This concentration increases the city's functional importance while also creating exposure to deliberate human-made threats.

Previous national studies have addressed urban resilience, passive defense, and the vulnerability of specific infrastructure sectors, while international studies increasingly integrate resilience, security, and risk-based asset management. Nevertheless, three gaps remain: few city-scale studies evaluate heterogeneous urban assets within one asset-based framework; localized models combining FEMA risk logic with Iranian passive-defense indicators are limited; and Sirjan lacks a GIS-based spatial prioritization of critical-asset risk. Accordingly, this study develops an integrated AHP-FEMA-GIS framework to identify key assets, determine a baseline deliberate threat, evaluate vulnerability, calculate relative risk, and convert the results into spatial risk classes.

The study addresses three questions: Which urban assets in Sirjan have the highest relative value according to passive-defense criteria? Which deliberate human-made threat should be selected as the baseline scenario? Which assets and locations fall within high and very high-risk classes under that scenario?

Methodology

This applied, descriptive-analytical study integrated documentary review, expert survey, Analytic Hierarchy Process (AHP), FEMA risk-assessment logic, and Geographic Information Systems (GIS). Asset, threat, and criteria identification drew on documentary and institutional sources; indicator scoring/weighting relied on expert judgment; and GIS linked scores to spatial layers to produce decision-support maps.

The spatial database included the Sirjan urban boundary, road network, urban base map, and point, line, and polygon layers representing key assets. Descriptive information comprised functional characteristics of assets, available threat records, passive-defense documents, and expert assessments. All indicators were evaluated on a 1-to-10 scale, where 1 represented the minimum and 10 the maximum level of asset value, threat, or vulnerability.

Three constructs were operationalized. Asset value consisted of monetary value,

user or population coverage, functional value, and replacement/repair value. Threat level was assessed through potential damage severity, threat history, adversary capability, and target attractiveness. Vulnerability was evaluated through weakness in adaptability, recovery, access control, and detectability or identification. These indicators were derived from Iranian passive-defense documents, FEMA 452, and relevant asset-management and resilience literature and were refined through expert review. The expert population comprised 30 senior managers and specialists with expertise in passive defense, urban infrastructure, urban planning, GIS, crisis management, and municipal governance. A purposive census approach was used, and 28 complete and analytically valid questionnaires retained. The questionnaire contained 12 principal items under the three constructs. Face and content validity were controlled through document matching and expert review. Cronbach's alpha values were 0.888 for asset value, 0.896 for threat, and 0.712 for vulnerability, indicating acceptable reliability.

AHP was utilized to determine relative indicator weights. Pairwise judgments were aggregated using the geometric mean, and only judgments with acceptable consistency ($CR < 0.10$) were retained. For asset value, functional value received the largest weight (0.480), followed by replacement/repair value (0.216), user coverage (0.196), and monetary value (0.108). For threat, damage severity had the dominant weight (0.590), followed by threat history (0.230), target attractiveness (0.110), and adversary capability (0.070). For vulnerability, weakness in recovery had the highest weight (0.340), followed by weakness in access (0.280), adaptability (0.220), and detectability (0.160).

For each asset, asset value (A), threat (T), and vulnerability (V) scores were calculated as weighted sums. Final risk was obtained using the multiplicative relationship $R = A \times Tbase \times V$. Since all inputs were already on the same scale, no additional normalization was applied. The risk index is dimensionless and relative and is intended for comparison and prioritization rather than for direct estimation of physical damage, casualties, or monetary loss.

All layers were referenced to WGS 1984 UTM Zone 40N. The A, T, and V values were joined to spatial features. Point assets were represented using inverse distance weighting where a continuous surface was needed, while line and polygon features were rasterized. Raster Calculator implemented the risk equation, and reclassify produced five operational classes: very low for $R < 200$, low for $200 \leq R < 250$, medium for $250 \leq R < 350$, high for $350 \leq R < 400$, and very high for $R \geq 400$.

Results and Discussion

Thirty-five key urban assets were evaluated. The mean asset-value score was 5.94 with a standard deviation of 1.44, ranging from 3.93 to 9.80. The highest asset values were recorded for transportation stations (9.796), the railway station (9.124), the railway line (8.410), Sirjan Airport (7.882), the Sirjan Special Economic Zone (7.500), the blood transfusion center (7.176), the oil company storage facility (7.156), and the broadcasting center (7.000). The pattern demonstrates the dominant functional importance of transportation and strategic economic assets. Their high scores reflect not only monetary value, but also service coverage, network function, and replacement difficulty.

Several deliberate human-made threats were then evaluated. The terrorist-bombing scenario obtained the highest threat score at 7.511, closely followed by air and missile attacks at 7.422, while cyberattacks scored 6.761. The mean threat score was 5.90 with a standard deviation of 1.20. Because the difference between the two leading threat scenarios was only 0.089, a sensitivity check was conducted. Since the threat score is constant across all assets within a scenario, substituting the air/missile score for the bombing score would proportionally reduce absolute risk values but would not change asset rankings. The bombing scenario was retained as the baseline because of its urban accessibility, target attractiveness, and compatibility with the FEMA 452 framework.

Under the baseline scenario, the mean vulnerability score was 5.74 with a standard deviation of 0.96 and a range of 4.04 to 7.70. The Sirjan Special Economic Zone had the highest vulnerability score (7.70), followed by the broadcasting center (7.66), railway line (7.38), telecommunications center (6.82), blood transfusion center (6.78), and both Sirjan Industrial Town and Imam Reza Specialized Hospital (6.66). These findings indicate that vulnerability is influenced not only by physical characteristics, but also by visibility, ease of access, recovery difficulty, and inadequate capacity to adapt service delivery after disruption.

The final risk assessment produced a mean value of 262.88 with a standard deviation of 99.57 and a range of 144.22 to 466.18. Five assets were classified as very high risk. The railway line ranked first with 466.18, followed by transportation stations (460.60), the railway station (441.34), the Sirjan Special Economic Zone (433.76), and the broadcasting center (402.74). Sirjan Airport (376.52), the blood transfusion center (365.43), and the oil company storage facility (354.74) were classified as high risk. Sirjan Industrial Town, the telecommunications center, the digital telecommunications center, Imam Reza Specialized Hospital, the access network, and the naval training facility were among the medium-risk assets. The GIS outputs indicate that risk is not uniformly distributed across Sirjan. Higher-risk areas are concentrated around connected transportation corridors, strategic economic nodes, and selected communication, health, and fuel-related facilities. This spatial pattern is consistent with Sirjan's role as a transportation-economic node. The findings also confirm the conceptual logic of the model: assets combining high functional importance with relatively high vulnerability occupy the upper risk classes. The railway line, transport stations, railway station, and Special Economic Zone are particularly important because disruption of these assets could affect mobility, industrial activity, supply chains, and broader network performance.

The study contributes at three levels. First, it localizes the FEMA asset-threat-vulnerability logic for an Iranian city and applies it to diverse assets rather than a single infrastructure sector. Second, it integrates passive-defense indicators with asset-management and resilience concepts, linking protection priorities to the functional role of assets. Third, it converts numerical assessment into GIS-based maps and operational classes that can support intervention prioritization.

The findings also suggest practical measures for high and very high-risk assets. Priority actions include strengthening vehicle and personnel screening, improving access control and surveillance, relocating parking away from sensitive buildings, reducing vulnerable openings where technically appropriate, creating protective landscape buffers, conducting emergency evacuation exercises, maintaining critical spare parts, providing redundant power, and continuously backing up essential server data. Relocation of the oil storage facility outside the urban area is identified as a major long-term measure. Implementation should be phased: immediate access-control and monitoring measures first; physical modifications and protective buffers second; and continuity-of-service planning, backup systems, and redundancy third.

The results should be interpreted with methodological caution. Threat and vulnerability scores partly depend on expert judgment, although validation, reliability testing, AHP consistency control, and geometric aggregation were employed to reduce arbitrariness. The analysis focuses on one baseline deliberate threat and does not simulate simultaneous multi-threat conditions. Moreover, the multiplicative FEMA model does not fully represent cascading infrastructure dependencies. Future studies should therefore incorporate combined physical-cyber scenarios, network-based interdependency analysis, uncertainty analysis, and dynamic cascading-failure simulations.

Conclusion

The integrated AHP-FEMA-GIS framework provides a practical and transparent approach for identifying, evaluating, mapping, and prioritizing key urban assets from a passive-defense

perspective. Analysis of 35 assets exhibited that Sirjan's risk structure is strongly concentrated around transportation infrastructure and strategic economic facilities. The railway line, transportation stations, railway station, Sirjan Special Economic Zone, and broadcasting center emerged as the most critical assets under the baseline terrorist-bombing scenario, while the airport, blood transfusion center, and oil storage facility also require high-priority intervention. The findings demonstrate that passive-defense planning should not rely solely on the physical presence or monetary value of infrastructure. Functional importance, service coverage, replacement difficulty, threat characteristics, accessibility, recovery capacity, adaptability, and detectability should be considered together. Integrating these dimensions within a spatial framework enables decision-makers to distinguish assets requiring routine monitoring from those requiring immediate, asset-specific protection plans.

The proposed framework can support evidence-based allocation of limited resources, the prioritization of safety investments, the preparation of phased risk-reduction programs, and the development of continuity strategies for critical services. The spatial outputs are particularly useful because they translate technical calculations into maps usable by urban managers, crisis-management agencies, infrastructure operators, and passive-defense authorities. With local calibration, the framework can also be applied to other Iranian cities with strategic transportation, industrial, economic, or service functions. Future applications can strengthen it by incorporating interacting threats, explicit infrastructure-dependency networks, probabilistic uncertainty, and cascading-failure simulation.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Somayeh Mohammadi Abadeh: Problem formulation, collection of documentary and field data, preparation of spatial layers, execution of GIS analyses, and writing the initial draft; Rahim Sarvar: Conceptualization, research method design, scientific supervision, strengthening the theoretical framework, and final review of the article; Ali Tavakolan: Tool design, AHP analysis, verification of FEMA model calculations, and method validation; Seyed Mousa Pourmousavi: Explanation of passive defense components, policy interpretation of findings, formulation of executive recommendations, and critical review of the text..

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجلـــه شـــهر پایـــدار
شاپا الکترونیکی: 2476-6151
Journal Homepage: www.jscity.ir

ارزیابی ریسک دارایی‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل
مطالعه موردی: شهر سیرجان

سمیه محمدی آباده [۱]، رحیم سرور [۲] ✉، علی توکلان [۳]، سید موسی پورموسوی [۴]

۱- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: mohammadisamin60@gmail.com
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: r-sarvar@srbiau.ac.ir
۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: a.tavaolan@srbiau.ac.ir
۴- گروه جغرافیا، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. رایانامه: mpmousavi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۱۲/۲۳
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۴/۰۹
تاریخ چاپ:
۱۴۰۵/۰۵/۱۲

واژگان کلیدی:
ارزیابی ریسک، دارایی‌های کلیدی، پدافند غیرعامل، مدل FEMA، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهر سیرجان.

چکیده

حفاظت از دارایی‌های کلیدی شهری، به‌ویژه زیرساخت‌های حمل‌ونقل، انرژی، ارتباطات و خدمات حیاتی، یکی از الزامات پدافند غیرعامل و استمرار کارکرد شهرهاست. تمرکز شبکه ریلی، ایستگاه‌های حمل‌ونقل، فرودگاه، منطقه ویژه اقتصادی و مراکز خدماتی حساس در سیرجان، پیامد اختلال در این دارایی‌ها را از مقیاس محلی فراتر می‌برد. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی مکانی ریسک ۳۵ دارایی کلیدی شهر سیرجان در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی و تعیین اولویت مداخلات کاهش ریسک است. پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی–تحلیلی است. داده‌ها از مطالعات اسنادی، لایه‌های مکانی، اسناد پدافند غیرعامل و پرسشنامه خبرگان گردآوری شد. جامعه خبرگان ۳۰ نفر بود که ۲۸ پرسشنامه کامل و سازگار وارد تحلیل شد. ارزش دارایی، درجه تهدید و آسیب‌پذیری در مقیاس ۱ تا ۱۰ سنجیده شد؛ وزن زیرشاخص‌ها با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و عدد ریسک با رابطه ضربی مدل FEMA محاسبه گردید. نتایج در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به نقشه پنج طبقه‌ای ریسک تبدیل شد. تهدید تروریستی–بمب‌گذاری با عدد ۵۱۱/۷ به‌عنوان تهدید پایه انتخاب شد. خط ریل با ریسک ۱۸/۴۶۶، ایستگاه‌های حمل‌ونقل با ۶۰/۴۶۰، ایستگاه قطار با ۳۴/۴۴۱، منطقه ویژه اقتصادی با ۷۶/۴۳۳ و صداوسیما با ۷۴/۴۰۲ در طبقه ریسک خیلی زیاد قرار گرفتند؛ فرودگاه، مرکز انتقال خون و انبار شرکت نفت نیز ریسک زیاد داشتند. تمرکز ریسک در دارایی‌های حمل‌ونقلی و اقتصادی نشان می‌دهد کنترل دسترسی، ایمن‌سازی کالبدی، افزایش قابلیت بازیابی، تأمین برق اضطراری و برنامه تداوم خدمت باید در اولویت مدیریت شهری و پدافند غیرعامل سیرجان قرار گیرد.

استناد: محمدی آباده، سمیه؛ سرور، رحیم؛ توکلان، علی و پورموسوی، سید موسی. (۱۴۰۵). ارزیابی ریسک دارایی‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل مطالعه موردی: شهر سیرجان. *مجله شهر پایدار*، ۹ (۲)، ۱۳۹-۱۲۱.

http://doi.org/10.22034/jsc.2026.586433.1920

© نویسندگان
ناشر: انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران

مقدمه

زیرساخت‌ها و دارایی‌های کلیدی ستون فقرات حیات شهری را تشکیل می‌دهند؛ زیرا استمرار تولید و توزیع کالا، خدمات عمومی، جابه‌جایی جمعیت، ارتباطات، درمان، انرژی و مدیریت بحران به عملکرد پایدار آن‌ها وابسته است. هرگونه اختلال در یک دارایی کلیدی، به سبب وابستگی‌های شبکه‌ای میان زیرساخت‌ها، می‌تواند اختلالات زنجیره‌ای و پیامدهای ایمنی، امنیتی، اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای ایجاد کند (Zhang et al., 2015; Svendsen & Wolthusen,2007).

در چنین بستری، ریسک نه صرفاً احتمال وقوع یک تهدید، بلکه برآیند ارزش دارایی، درجه تهدید و آسیب‌پذیری دارایی در برابر آن تهدید است. از این منظر، ارزیابی ریسک ابزار تصمیم‌سازی برای اولویت‌بندی منابع محدود، تعیین نقاط بحرانی و طراحی مداخلات کاهش ریسک در مدیریت شهری است (International Organization for Standardization (ISO),2018; Federal Emergency Management Agency (FEMA),2005).

پدافند غیرعامل نیز در همین نقطه با مدیریت ریسک پیوند می‌یابد: هدف آن کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تجهیزات و شریان‌های حیاتی بدون اتکا به اقدام مسلحانه است. بنابراین، ارزیابی ریسک دارایی‌های کلیدی، حلقه واسط میان مدیریت دارایی، تاب‌آوری شهری و پدافند غیرعامل محسوب می‌شود؛ زیرا ابتدا دارایی‌های حیاتی را شناسایی می‌کند، سپس تهدیدات و آسیب‌پذیری‌ها را می‌سنجد و درنهایت مبنای مکانی برای مداخله فراهم می‌آورد.

انتخاب شهر سیرجان به‌عنوان نمونه موردمطالعه صرفاً مبتنی بر ویژگی‌های عمومی شهر نیست، بلکه از جایگاه راهبردی آن در شبکه حمل‌ونقل، اقتصاد معدنی و پیوندهای منطقه‌ای ناشی می‌شود. سیرجان در تقاطع محورهای اصلی شمال–جنوب و شرق–غرب، در مسیر دسترسی به خلیج‌فارس و در پیوند با معدن گل‌گهر، منطقه ویژه اقتصادی، فرودگاه، ایستگاه راه‌آهن، شبکه ریلی و مراکز صنعتی قرار دارد. تمرکز این دارایی‌ها در یک پهنه شهری، هم ارزش عملکردی شهر را افزایش داده و هم آن را در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی، به‌ویژه تهدیدات تروریستی و اخلال در حمل‌ونقل، حساس‌تر کرده است.

مسئله اصلی پژوهش آن است که در شهر سیرجان، کدام دارایی‌ها از منظر ارزش، تهدید پذیری و آسیب‌پذیری در اولویت ریسک قرار دارند و الگوی فضایی این ریسک چگونه در سطح شهر توزیع‌شده است. بر همین مبنا، پرسش‌ها و گزاره‌های راهنمای پژوهش به‌گونه‌ای تنظیم‌شده‌اند که پیوند میان مسئله، متغیرهای نظری و فرایند محاسبه ریسک روشن باشد.

سؤال‌های پژوهش عبارت‌اند از: ۱) دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان بر اساس شاخص‌های پدافند غیرعامل کدام‌اند و ارزش نسبی آن‌ها چگونه است؟ ۲) در میان تهدیدات انسان‌ساخت عمدی، کدام تهدید به‌عنوان تهدید پایه برای تحلیل ریسک دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان اولویت دارد؟ ۳) پهنه‌ها و دارایی‌های دارای ریسک بالا و خیلی بالا در برابر تهدید پایه کدام‌اند؟

گزاره‌های راهنمای پژوهش نیز چنین تعریف می‌شوند: ۱) دارایی‌های دارای نقش شبکه‌ای و سطح پوشش بالاتر، عدد دارایی بیشتری خواهند داشت؛ ۲) تهدید تروریستی–بمب‌گذاری به سبب دسترسی‌پذیری و جذابیت اهداف شهری، از تهدیدات پایه محتمل برای دارایی‌های کلیدی سیرجان است؛ ۳) دارایی‌های حمل‌ونقل و اقتصاد راهبردی شهر در طبقات بالاتر ریسک قرار می‌گیرند.

برای تبیین جایگاه پژوهش حاضر، پیشینه داخلی و خارجی در ادامه مقدمه و در دو محور «تاب‌آوری و پدافند غیرعامل شهری» و «ارزیابی ریسک دارایی‌های زیرساختی» به‌صورت انتقادی بررسی می‌شود.

در ادبیات داخلی، محمدی آباده و همکاران (۱۴۰۲) در سیرجان نشان داده‌اند که ابعاد تاب‌آوری، به‌ویژه بعد کالبدی، با ارتقای ظرفیت پدافند غیرعامل رابطه دارد؛ اما آن پژوهش وارد محاسبه ریسک دارایی‌های مشخص و پهنه‌بندی مکانی آن نشده است. سیداحمدی ممقانی و همکاران (۱۴۰۱) نیز در تبریز نقش دسترسی، تراکم و ویژگی‌های کالبدی را در پدافند غیرعامل برجسته کرده‌اند، ولی مدل دارایی محور و سناریوی تهدید پایه ارائه نمی‌کنند. مطالعه تمجیدی و همکاران (۱۴۰۴) نیز اهمیت استحکام، فاصله از خدمات اضطراری و فضای سبز را در تاب‌آوری کالبدی نشان می‌دهد و بر ضرورت تبدیل شاخص‌های کالبدی به اولویت‌های مکانی تأکید دارد. در حوزه ارزیابی ریسک زیرساخت‌ها، ابطحی و همکاران (۱۴۰۲) از روش FEMA برای زیرساخت‌های آب و فاضلاب استفاده کرده و فرایند شناسایی دارایی، تهدید مبنا و ارزیابی آسیب‌پذیری را دنبال کرده‌اند. غلامپور و همکاران (۱۴۰۱) نیز با روش API ۷۸۰ ریسک شریان‌های حیاتی بندر امیرآباد را سنجیده‌اند. نقطه قوت این مطالعات، دارایی محور بودن و توجه به تهدیدات سخت است؛ اما محدودیت مشترک آن‌ها تمرکز بر یک بخش زیرساختی یا یک پهنه عملکردی خاص و نبود تلفیق هم‌زمان دارایی‌های متنوع شهری، شاخص‌های پدافند غیرعامل و خروجی نقشه محور در GIS است.

در سطح بین‌المللی نیز ارزیابی ریسک زیرساختی به سمت یکپارچه‌سازی مدیریت دارایی، امنیت و تاب‌آوری حرکت کرده است. پاپاگئورگیو[1] و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از محاسبه ریسک و نمودار پاپیون، امنیت دریایی را تحلیل کرده‌اند؛ ساسیداران[2] و همکاران (۲۰۲۲) ابزار پشتیبان تصمیم مبتنی بر ریسک را برای مدیریت راهبردی دارایی‌های ریلی توسعه داده‌اند؛ و لیو و مک‌نیل[3](۲۰۲۰) نشان داده‌اند که پیوند مدیریت دارایی و تاب‌آوری می‌تواند در برنامه‌های ریسک‌بنیان زیرساختی عملیاتی شود. بااین‌حال، کاربرد این مدل‌ها در شهرهای ایرانی به بومی‌سازی شاخص‌ها، لحاظ اسناد پدافند غیرعامل و تبدیل نتایج به نقشه قابل‌استفاده برای مدیران شهری نیاز دارد.

بر این اساس، شکاف پژوهشی در سه محور تعریف می‌شود: نخست، کمبود مطالعات دارایی محور در مقیاس شهری که دارایی‌های حمل‌ونقل، انرژی، ارتباطات، خدمات و مراکز راهبردی را در یک مدل واحد بسنجند؛ دوم، نبود چارچوب بومی‌شده‌ای که منطق FEMA را با شاخص‌های سازمان پدافند غیرعامل و معیارهای مدیریت دارایی تلفیق کند؛ و سوم، فقدان پهنه‌بندی مکانی ریسک دارایی‌های کلیدی سیرجان. نوآوری پژوهش، پاسخ به این سه خلأ از طریق مدل ترکیبی AHP–FEMA–GIS و تمرکز بر سناریوی تهدید پایه تروریستی–بمب‌گذاری است.

جدول ۱. جمع‌بندی انتقادی پیشینه و جایگاه پژوهش حاضر

محور پیشینه	دستاورد	کاستی در نسبت با پژوهش حاضر	کارکرد برای این پژوهش
تاب‌آوری و پدافند غیرعامل شهری	تبیین اهمیت ابعاد کالبدی، دسترسی و تراکم در کاهش آسیب‌پذیری	نبود محاسبه ریسک دارایی‌های مشخص و نقشه نهایی ریسک	تبدیل مفاهیم تاب‌آوری به شاخص‌های عملیاتی آسیب‌پذیری
ارزیابی ریسک زیرساخت‌های آب، بندر و شریان‌های حیاتی	استفاده از مدل‌های FEMA/API و تمرکز بر دارایی‌های حیاتی	تمرکز بخشی و عدم پوشش هم‌زمان دارایی‌های متنوع شهری	استفاده از منطق دارایی–تهدید–آسیب‌پذیری در مقیاس شهر
مدیریت دارایی مبتنی بر ریسک در مطالعات خارجی	اتصال ریسک، هزینه، ایمنی، امنیت و تاب‌آوری در زیرساخت‌ها	نیاز به بومی‌سازی برای اسناد ملی و شرایط شهرهای ایرانی	تدوین چارچوب بومی‌شده AHP–FEMA–GIS
راهنماهای FEMA و استانداردهای بین‌المللی	تأکید بر شناسایی دارایی، تهدید، آسیب‌پذیری و تصمیم کاهش ریسک	عدم ارائه نسخه آماده برای مقیاس شهری سیرجان	تطبیق روش با شاخص‌های مصوب پدافند غیرعامل و داده‌های GIS

1Papageorgiou
2Sasidharan
3. Liu & McNeil

مبانی نظری

دارایی کلیدی، اهمیت و وابستگی زیرساختی

دارایی کلیدی در این پژوهش هر عنصر فیزیکی یا عملکردی است که اختلال در آن بتواند استمرار خدمات حیاتی، امنیت، اقتصاد یا پیوستگی شبکه زیرساختی شهر را مختل کند. در مدیریت دارایی، اهمیت فقط با هزینه احداث یا ارزش بازار تعیین نمی‌شود، بلکه دامنه خدمت، نقش عملکردی، قابلیت جایگزینی، زمان‌ترمیم و اثر اختلال بر دارایی‌های وابسته را نیز دربر می‌گیرد (سازمان بین‌المللی استانداردسازی، ۲۰۲۴). ازاین‌رو، «ارزش دارایی» در مدل حاضر سازه‌ای چندبعدی است و چهار مؤلفه ارزش ریالی، پوشش بهره‌برداران، ارزش عملکردی و ارزش جایگزینی و ترمیم را تلفیق می‌کند.

دارایی‌های شهری مستقل عمل نمی‌کنند. راه‌آهن به برق، سوخت، مخابرات و کنترل ترافیک وابسته است؛ فرودگاه به شبکه دسترسی، سوخت و ارتباطات متکی است؛ و مراکز درمانی بدون برق، آب، حمل‌ونقل و زنجیره تأمین قادر به تداوم خدمت نیستند. درنتیجه، اختلال یک گره می‌تواند از مسیر وابستگی‌های فیزیکی، اطلاعاتی، جغرافیایی یا سازمانی به سایر گره‌ها سرایت کند. برنامه ملی حفاظت از زیرساخت‌های ایالات‌متحده نیز امنیت و تاب‌آوری را در سطح شبکه‌ای و بین‌بخشی تعریف می‌کند (وزارت امنیت داخلی ایالات‌متحده، ۲۰۱۳). این منطق، چرایی قرار گرفتن دارایی‌های حمل‌ونقلی و اقتصادی سیرجان در مرکز تحلیل را توضیح می‌دهد[1].

تمایز تهدید، آسیب‌پذیری و ریسک

تهدید به ظرفیت و قصد نسبی عامل برای ایجاد آسیب اشاره دارد، درحالی‌که آسیب‌پذیری ویژگی درونی یا محیطی دارایی است که امکان موفقیت تهدید و شدت پیامد را افزایش می‌دهد. بنابراین دسترسی آسان، آشکار بودن هدف، نبود انعطاف عملیاتی و طولانی بودن بازیابی، تهدید نیستند؛ بلکه عوامل آسیب‌پذیری‌اند. ریسک زمانی شکل می‌گیرد که دارایی بااهمیت در معرض تهدید معتبر قرار گیرد و در برابر آن آسیب‌پذیر باشد. این تفکیک مانع آن می‌شود که اهمیت دارایی، احتمال تهدید و ضعف حفاظتی در یک امتیاز مبهم ادغام شوند و مبنای رابطه $V \times R = A \times T$ را فراهم می‌کند (آژانس مدیریت بحران فدرال ایالات‌متحده، ۲۰۰۵؛ سازمان بین‌المللی استانداردسازی، ۲۰۱۸).

ریسک، تاب‌آوری و پدافند غیرعامل

تاب‌آوری به ظرفیت جذب اختلال، حفظ سطح قابل‌قبول عملکرد، بازیابی و سازگاری پس از بحران اشاره دارد. برونو[2] و همکاران (۲۰۰۳) تاب‌آوری زیرساخت را با ابعاد استحکام، افزونگی، تدبیر و سرعت بازیابی توضیح می‌دهند. اونگکوویجویو و دولوی[3] (۲۰۱۸) نیز نشان می‌دهند که ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت شهری بدون ارزیابی ریسک و فرایند بازگردانی خدمت کامل نیست. در مطالعات شهری ایران نیز سناریوهای تاب‌آوری و عملکرد مراکز درمانی بر نقش ظرفیت بازیابی، دسترسی و استمرار خدمت تأکید دارند (فرهادی و همکاران، ۲۰۲۲؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۲۳).

در منطق ضربی مدل، هر مؤلفه نقش تقویت‌کننده دارد. اگر ارزش یا آسیب‌پذیری پایین باشد، حتی تهدید نسبتاً بالا الزاماً به بیشترین ریسک نمی‌انجامد؛ برعکس، هم‌زمانی ارزش عملکردی، جذابیت هدف و ضعف بازیابی می‌تواند ریسک را به‌سرعت افزایش دهد. این ویژگی با ارزیابی دارایی محور سازگار است، اما خروجی را به شاخصی نسبی و بدون بعد تبدیل می‌کند؛ بنابراین عدد ریسک برای رتبه‌بندی و تخصیص منابع مناسب است، نه برآورد مستقیم تلفات یا هزینه خسارت.

---

1 U.S. Department of Homeland Security (DHS)
2 Bruneau
3 Ongkowijoyo & Doloi

پدافند غیرعامل در این چارچوب سازوکار مداخله پیش از وقوع و کاهش پیامد است. اقداماتی مانند کنترل دسترسی، استتار و اختفا، پراکندگی، مقاوم‌سازی، ایجاد فاصله ایمن، افزونگی سامانه‌ها، ذخیره قطعات و برنامه تداوم خدمت، یا احتمال موفقیت تهدید را کم می‌کنند یا آسیب‌پذیری و زمان بازیابی را کاهش می‌دهند. یافته‌های مطالعات داخلی نیز نشان می‌دهد که مکان‌یابی، دسترسی، استحکام و سازمان‌دهی فضایی در کاهش آسیب‌پذیری دارایی‌ها تعیین‌کننده‌اند (بابایان آتنی و همکاران، ۱۴۰۰؛ پاکرو و موسوی، ۱۴۰۲؛ قائم‌مقامی و همکاران، ۱۴۰۱).

زنجیره نظری پژوهش چنین است: مدیریت دارایی مشخص می‌کند چه چیزی و به چه دلیل ارزش حفاظت دارد؛ تهدیدشناسی تعیین می‌کند کدام سناریو مبنای ارزیابی قرار گیرد؛ آسیب‌پذیری نشان می‌دهد دارایی در برابر سناریوی منتخب تا چه حد حساس است؛ مدل FEMA برهم‌کنش این سه مؤلفه را به عدد ریسک تبدیل می‌کند؛ GIS الگوی فضایی و نقاط تمرکز مداخله را آشکار می‌سازد. از این زنجیره دو انتظار نظری به دست می‌آید: نخست، دارایی‌های دارای نقش شبکه‌ای، پوشش گسترده و جایگزینی دشوار باید ارزش بیشتری کسب کنند؛ دوم، دارایی‌هایی که ارزش بالا را با دسترسی‌پذیری، آشکار بودن و ضعف بازیابی ترکیب می‌کنند باید در طبقات بالاتر ریسک قرار گیرند.

چارچوب عملیاتی شامل پنج گام است: شناسایی و ارزش‌گذاری دارایی‌ها؛ شناسایی و وزن دهی تهدیدات؛ تعیین تهدید پایه و سنجش آسیب‌پذیری؛ محاسبه عدد ریسک؛ و تبدیل نتایج به نقشه اولویت مداخله. بدین ترتیب، پژوهش از فهرست برداری توصیفی دارایی‌ها فراتر می‌رود و رابطه‌ای قابل ردیابی میان مبانی نظری، شاخص‌ها، محاسبات و توصیه‌های پدافند غیرعامل برقرار می‌کند.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی–تحلیلی است. ابتدا دارایی‌ها، تهدیدات و آسیب‌پذیری‌ها توصیف و سپس با مدل ترکیبی AHP–FEMA–GIS تحلیل شدند. داده‌های اسنادی برای شناسایی دارایی‌ها و تدوین شاخص‌ها، پیمایش خبرگان برای امتیازدهی و مقایسه‌های زوجی، و GIS برای پیوند داده‌های توصیفی با موقعیت مکانی و تولید نقشه ریسک به کار رفت.

کاربرد وزن دهی خبرگان، تحلیل چندمعیاره و خروجی نقشه محور در مطالعات جدید شهر پایدار نیز برای تحلیل مسائل کالبدی و ریسک‌محور شهری تأییدشده است (سیداحمدی ممقانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ تمجیدی و همکاران، ۱۴۰۴). در پژوهش حاضر، این منطق با تمرکز بر دارایی‌های کلیدی و رویکرد پدافند غیرعامل به کار گرفته شد.

داده‌های مکانی شامل محدوده شهر سیرجان، شبکه معابر، لایه دارایی‌های کلیدی و نقشه پایه شهری بود. داده‌های توصیفی شامل اطلاعات عملکردی دارایی‌ها، سوابق تهدید، اسناد پدافند غیرعامل و پرسشنامه خبرگان بود. همه شاخص‌ها در مقیاس ۱ تا ۱۰ امتیازدهی شدند؛ در این مقیاس، عدد ۱ بیانگر حداقل و عدد ۱۰ بیانگر حداکثر ارزش، تهدید یا آسیب‌پذیری است.

- برای «ارزش دارایی» چهار زیر شاخص ارزش ریالی، سطح پوشش بهره‌برداران، ارزش عملکردی و ارزش جایگزینی/ترمیم استفاده شد.
- برای «درجه تهدید» چهار زیر شاخص شدت خسارت، سابقه تهدید، توانایی دشمن و جذابیت هدف برای دشمن استفاده شد.

• برای «درجه آسیب‌پذیری» چهار زیر شاخص ضعف در انطباق‌پذیری، ضعف در بازیابی، ضعف در امکان دسترسی و ضعف در شناسایی استفاده شد.

زیرشاخص‌های سه سازه اصلی از اسناد سازمان پدافند غیرعامل کشور (۱۴۰۱)، راهنمای FEMA ۴۵۲ و ادبیات مدیریت ریسک و دارایی استخراج و با نظر خبرگان برای شرایط سیرجان پالایش شد. جدول الف-۲ تعریف عملیاتی، جهت اثر و منبع استخراج هر زیر شاخص را نشان می‌دهد و مبنای طراحی پرسشنامه و وزن دهی AHP بوده است.

جدول ۲. تعریف عملیاتی سازه‌ها، زیرشاخص‌ها و منبع استخراج

شاخص اصلی	زیرشاخص‌ها	تعریف عملیاتی و منبع استخراج
ارزش دارایی	ارزش ریالی	برآورد نسبی حجم سرمایه‌گذاری، ارزش تجهیز و هزینه مالی از دست رفتن دارایی؛ منبع: اسناد سازمان پدافند غیرعامل و منطق پیامد در FEMA ۴۵۲.
	سطح پوشش بهره‌برداران	گستره جمعیت، فعالیت‌ها یا خدمات شهری وابسته به دارایی؛ منبع: اسناد پدافند غیرعامل و معیارهای مدیریت دارایی.
	ارزش عملکردی	نقش دارایی در استمرار خدمات حیاتی و پیوستگی شبکه زیرساختی؛ منبع: سازمان پدافند غیرعامل، ISO ۵۵۰۰۰ و FEMA ۴۵۲.
	ارزش جایگزینی و ترمیم	دشواری، زمان و هزینه نسبی بازسازی یا جایگزینی پس از اختلال؛ منبع: سازمان پدافند غیرعامل و FEMA ۴۵۲.
درجه تهدید	شدت خسارت	میزان پیامد تخریبی/عملکردی محتمل در صورت وقوع تهدید؛ منبع: FEMA ۴۵۲ و اسناد پدافند غیرعامل.
	سابقه تهدید	وجود سابقه یا قرائن تهدید مشابه در مقیاس محلی، ملی یا منطقه‌ای؛ منبع: مرور سوابق و نظر خبرگان.
	توانایی دشمن	قابلیت عامل تهدید برای طراحی، دسترسی و اجرای حمله؛ منبع: FEMA ۴۵۲ و اسناد پدافند غیرعامل.
	جذابیت هدف برای دشمن	میزان اهمیت نمادین، اقتصادی، رسانه‌ای یا عملکردی دارایی برای عامل تهدید؛ منبع: FEMA ۴۵۲.
درجه آسیب‌پذیری	ضعف در انطباق‌پذیری	ناتوانی دارایی در تغییر رویه، مسیر خدمت یا الگوی بهره‌برداری در وضعیت تهدید؛ منبع: ادبیات تاب‌آوری و پدافند غیرعامل.
	ضعف در بازیابی	دشواری بازگرداندن خدمت به سطح قابل‌قبول پس از اختلال؛ منبع: ادبیات تاب‌آوری، FEMA ۴۵۲.
	ضعف در امکان دسترسی	سهولت دسترسی عامل تهدید به دارایی، ورودی‌ها، پیرامون و مسیرهای نزدیک شونده؛ منبع: اسناد پدافند غیرعامل و مطالعات مکانی.
	ضعف در شناسایی	قابلیت مشاهده، تشخیص و هدف‌گیری دارایی از سوی عامل تهدید؛ منبع: اسناد پدافند غیرعامل و FEMA ۴۵۲.

جامعه خبرگان شامل ۳۰ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد مرتبط با پدافند غیرعامل، مدیریت شهری، زیرساخت‌های شهری، برنامه‌ریزی شهری، GIS و مدیریت بحران در سازمان پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، دانشگاه امام حسین (ع)، شهرداری سیرجان و استانداری کرمان بود. روش نمونه‌گیری هدفمند–تمام‌شماری بود و از میان پرسشنامه‌های توزیع‌شده، ۲۸ پرسشنامه کامل و قابل‌تحلیل دریافت شد. معیار ورود، داشتن تجربه مستقیم یا تخصص مرتبط با دارایی‌های شهری/پدافند غیرعامل و آشنایی با شرایط سیرجان بود؛ پرسشنامه‌های ناقص یا دارای ناسازگاری غیرقابل اصلاح در مقایسه‌های زوجی از تحلیل کنار گذاشته شدند.

جدول ۳. مشخصات جامعه خبرگان و ابزار گردآوری داده

مؤلفه روش‌شناختی	تعریف و مشخصات در پژوهش حاضر
نوع داده	داده اسنادی، لایه مکانی، امتیاز خبرگان در طیف ۱ تا ۱۰
جامعه و نمونه	۳۰ خبره واجد صلاحیت؛ ۲۸ پرسشنامه کامل و قابل‌تحلیل
معیار ورود	تخصص/تجربه در پدافند غیرعامل، زیرساخت شهری، مدیریت بحران، GIS یا مدیریت شهری سیرجان
معیار خروج	پرسشنامه ناقص، عدم آشنایی با موضوع، یا ناسازگاری غیرقابل اصلاح در قضاوت زوجی
ساختار پرسشنامه	۳ بخش، ۱۲ گویه اصلی؛ ارزش دارایی، درجه تهدید، آسیب‌پذیری
روایی و پایایی	روایی محتوایی از طریق اسناد و خبرگان؛ آلفا: ارزش ۰/۸۸۸، تهدید ۰/۸۹۶، آسیب‌پذیری ۰/۷۱۲

وزن دهی شاخص‌ها با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد. این روش بر ساختار سلسله‌مراتبی مسئله، مقایسه زوجی عناصر و کنترل سازگاری قضاوت‌ها استوار است (ساعتی، ۲۰۰۸). ماتریس‌های ۲۸ خبره با میانگین هندسی تجمیع شد و فقط قضاوت‌هایی پذیرفته شد که نسبت سازگاری آن‌ها کمتر از ۰/۱۰ بود[7].

وزن دهی شاخص‌ها با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شد. قضاوت‌های زوجی خبرگان با میانگین هندسی تجمیع و وزن نهایی شاخص‌ها از بردار ویژه نرمال شده استخراج شد. ماتریس‌هایی که نرخ ناسازگاری آن‌ها بیش از ۰/۱۰ بود، بازبینی شدند و تنها قضاوت‌های سازگار وارد محاسبه نهایی گردید. جدول ۴ اوزان نهایی و کنترل سازگاری را نشان می‌دهد.

جدول ۴. اوزان نهایی AHP و کنترل سازگاری قضاوت‌ها

سازه	زیر شاخص	وزن نهایی	کنترل سازگاری/تجمیع
ارزش دارایی	سطح پوشش بهره‌برداران	۰/۱۹۶	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
ارزش دارایی	ارزش جایگزینی و ترمیم	۰/۲۱۶	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
ارزش دارایی	ارزش ریالی	۰/۱۰۸	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
ارزش دارایی	ارزش عملکردی	۰/۴۸۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
درجه تهدید	شدت خسارت	۰/۵۹۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
درجه تهدید	سابقه تهدید	۰/۲۳۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
درجه تهدید	جذابیت هدف	۰/۱۱۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
درجه تهدید	توانایی دشمن	۰/۰۷۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
آسیب‌پذیری	ضعف امکان شناسایی	۰/۱۶۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
آسیب‌پذیری	ضعف بازیابی	۰/۳۴۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
آسیب‌پذیری	ضعف امکان دسترسی	۰/۲۸۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10
آسیب‌پذیری	ضعف انطباق‌پذیری	۰/۲۲۰	تجمیع میانگین هندسی؛ CR<0/10

فرمول‌های محاسبه به‌صورت زیر تعریف شد:

$V_i=\Sigma(u_l\times y_{il})$، $T_k=\Sigma(v_m\times t_{km})$، $A_i=\Sigma w_j\times x_{ij}$ و $R_i=A_i\times Tbase\times V_i$. در این روابط، A عدد دارایی، T عدد تهدید، V عدد آسیب‌پذیری، R عدد ریسک، w/v/u اوزان AHP و x/t/y امتیازهای ۱ تا ۱۰ خبرگان هستند. چون همه ورودی‌ها بر مقیاس یکسان ۱ تا ۱۰ تعریف شدند، نرمال‌سازی مجدد انجام نشد؛ بااین‌حال، خروجی ریسک عددی بدون بعد و نسبی است و برای مقایسه و اولویت‌بندی به کار می‌رود. در محیط GIS، لایه‌های دارایی به‌صورت نقطه‌ای، خطی یا پلی گونی بر اساس نقشه پایه تهیه و در سامانه مختصات WGS ۱۹۸۴ UTM Zone ۴۰N هم

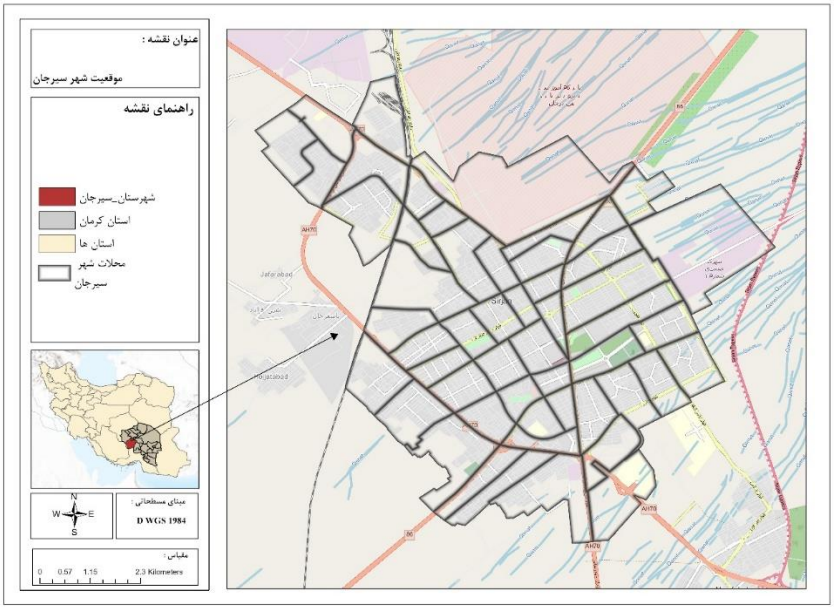
[7]. Saaty

مرجع شدند. سپس امتیازهای A، T و V به جدول توصیفی لایه‌ها پیوست. برای تولید سطح پیوسته، دارایی‌های نقطه‌ای با روش فاصله معکوس و عوارض خطی و پلی گونی پس از تبدیل به رستر تلفیق شدند. لایه نهایی با رابطه ضربی $R=A\times T\times V$ تولید و با ابزار باز طبقه‌بندی در پنج سطح ریسک تقسیم شد؛ بنابراین تلفیق نهایی بر جمع ساده شاخص‌ها استوار نیست.

پیش‌فرض‌ها و محدودیت‌های روش FEMA عبارت‌اند از: خروجی ریسک نسبی و بدون بعد است و برآورد مستقیم خسارت فیزیکی، تلفات یا هزینه ریالی محسوب نمی‌شود؛ مدل بر یک سناریوی تهدید پایه تمرکز دارد؛ امتیازها متکی بر قضاوت خبرگان و اسناد موجود و درنتیجه دارای عدم قطعیت کنترل‌شده‌اند؛ و رابطه ارزش، تهدید و آسیب‌پذیری به‌صورت ضربی فرض می‌شود، درحالی‌که آثار آبشاری شبکه‌ای به‌طور کامل شبیه‌سازی نشده است. ازاین‌رو، نتایج برای اولویت‌بندی مداخلات معتبرند، اما نباید پیش‌بینی قطعی خسارت تلقی شوند.

محدوده موردمطالعه

سیرجان به دلیل تمرکز دارایی‌های حمل‌ونقلی، صنعتی، اقتصادی و خدماتی، نمونه‌ای مناسب برای تحلیل ریسک دارایی‌های کلیدی با رویکرد پدافند غیرعامل است. قرارگیری در محورهای مواصلاتی ملی، اتصال ریلی، وجود فرودگاه، منطقه ویژه اقتصادی، معدن گل‌گهر، انبارهای سوخت، مراکز ارتباطی و خدمات درمانی، این شهر را به گره‌ای عملکردی در جنوب شرق کشور تبدیل کرده است. همین تمرکز کارکردهای حیاتی، در کنار توسعه کالبدی فشرده و وابستگی شبکه‌ای زیرساخت‌ها، ضرورت ارزیابی مکانی ریسک را در سیرجان توجیه می‌کند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

یافته‌ها

شناسایی و ارزش‌گذاری دارایی‌های کلیدی

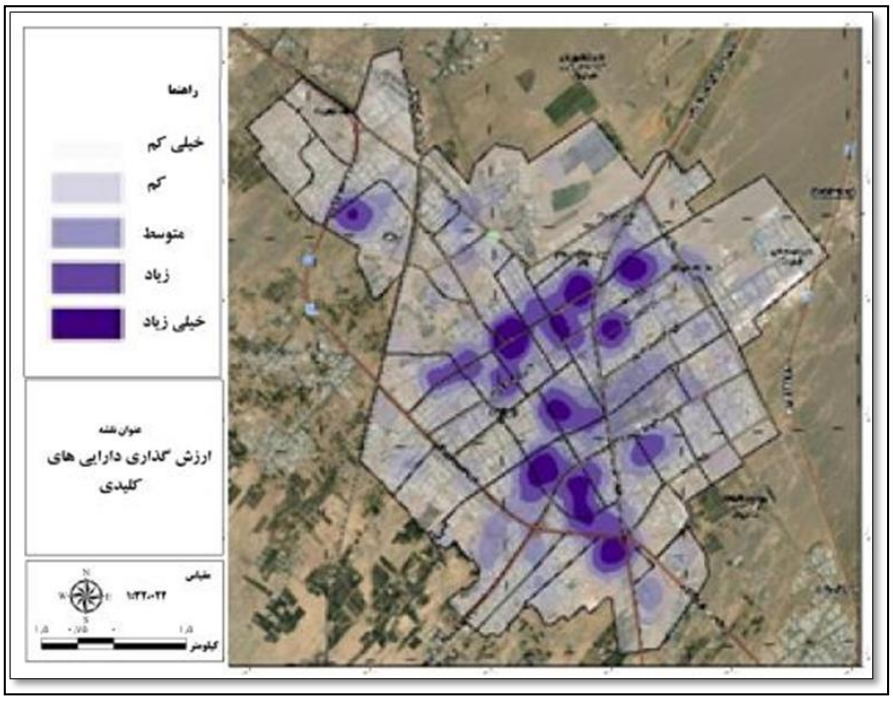
در این پژوهش ۳۵ دارایی کلیدی شهر سیرجان بر اساس چهار شاخص ارزش ریالی، سطح پوشش بهره‌برداران، ارزش عملکردی و ارزش جایگزینی/ترمیم ارزیابی شد. «عدد دارایی» به‌صورت مجموع وزنی شاخص‌ها محاسبه‌شده است:

A_i=۰/۱۹۶×پوشش+۲۱۶/۰×جایگزینی+۱۰۸/۰×ارزش ریالی+۴۸۰/۰×ارزش عملکردی. بر این اساس، ایستگاه‌های حمل‌ونقل با ۷۹۶/۹، ایستگاه قطار با ۱۲۴/۹، خط ریل با ۴۱۰/۸، فرودگاه سیرجان با ۸۸۲/۷، منطقه ویژه اقتصادی با ۵۰۰/۷، مرکز انتقال خون با ۱۷۶/۷، انبار شرکت نفت با ۱۵۶/۷ و صداوسیما با ۰۰۰/۷ بیشترین ارزش نسبی را دارند. میانگین عدد دارایی‌ها ۹۴/۵ و انحراف معیار آن ۴۴/۱ است؛ بنابراین دارایی‌های حمل‌ونقلی و اقتصادی بیش از یک انحراف معیار بالاتر از میانگین قرارگرفته‌اند و از منظر پدافند غیرعامل در اولویت هستند.

جدول ۵. ارزش‌گذاری دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان

دارایی کلیدی	سطح پوشش بهره‌برداران	ارزش جایگزینی و ترمیم	ارزش ریالی	ارزش عملکردی	عدد دارایی
وزن AHP	۱۹۶/۰	۲۱۶/۰	۱۰۸/۰	۴۸۰/۰	—
تأسیسات آب	۵	۵	۳	۴	۳۰۴/۴
خطوط انتقال برق	۶	۶	۳	۳	۲۳۶/۴
پست ۲۳۰ کیلوولت سیرجان ۱	۵	۵	۵	۵	۰۰۰/۵
پست‌های ۶۳ کیلوولت	۵	۵	۴	۴	۴۱۲/۴
انبار شرکت نفت	۷	۶	۶	۸	۱۵۶/۷
ایستگاه‌های TBS	۵	۶	۶	۵	۳۲۴/۵
دانشگاه پیام نور	۵	۵	۴	۳	۹۳۲/۳
دانشگاه صنعتی سیرجان	۴	۵	۵	۴	۳۲۴/۴
دانشگاه آزاد اسلامی	۶	۶	۵	۴	۹۳۲/۴
هسته فضای سبز مرکز شهر	۶	۶	۵	۴	۹۳۲/۴
خدمات شهری سیرجان	۷	۶	۶	۵	۷۱۶/۵
میدان میوه و تره‌بار	۷	۶	۶	۵	۷۱۶/۵
شهرک صنعتی سیرجان	۶	۷	۷	۶	۳۲۴/۶
منطقه ویژه اقتصادی	۶	۷	۹	۸	۵۰۰/۷
پادگان آموزشی نیروی دریایی سیرجان	۵	۵	۵	۸	۴۴۰/۶
مراکز اداری انتظامی	۵	۵	۴	۶	۳۲۷/۵
فرمانداری	۵	۵	۵	۷	۹۶۰/۵
مرکز پزشکی قانونی	۵	۶	۳	۳	۰۴۰/۴
شورای شهر و شهرداری سیرجان	۵	۵	۵	۷	۹۶۰/۵
مرکز بهداشت اصلی	۷	۶	۵	۶	۰۸۸/۶
بیمارستان ولایت	۵	۵	۴	۶	۳۲۷/۵
بیمارستان غرضی	۵	۶	۴	۶	۵۸۸/۵
بیمارستان فوق تخصصی امام رضا (ع)	۷	۷	۶	۷	۸۹۲/۶
مرکز انتقال خون	۶	۷	۶	۸	۱۷۶/۷
صداوسیما	۷	۷	۷	۷	۰۰۰/۷
مرکز مخابرات	۶	۷	۵	۶	۱۰۸/۶
مرکز دیجیتال مخابرات	۶	۷	۵	۶	۱۰۸/۶
دکل‌های مخابراتی	۴	۳	۳	۵	۱۵۶/۴
مراکز امدادی-اداری	۴	۴	۴	۵	۴۸۰/۴
ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۴	۴	۳	۸	۸۱۲/۵
خط ریل	۸	۸	۸	۹	۴۱۰/۸
ایستگاه‌های حمل‌ونقل	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۷۹۶/۹
ایستگاه قطار	۹	۸	۹	۱۰	۱۲۴/۹
فرودگاه	۶	۹	۷	۸	۸۸۲/۷
شبکه دسترسی	۵	۶	۶	۷	۳۱۰/۶

خلاصه آماری جدول ۵ نشان می‌دهد میانگین ارزش دارایی‌ها ۹۴/۵، انحراف معیار ۴۴/۱، حداقل ۹۳/۳ و حداکثر ۸۰/۹ است. بیشترین پراکندگی در شاخص ارزش عملکردی مشاهده شد که نشان‌دهنده تمایز عملکردی شدید میان دارایی‌های حمل‌ونقلی/اقتصادی و دارایی‌های خدماتی محلی است.



شکل ۲. نقشه ارزش‌گذاری دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان؛ طبقات نقشه بر اساس عدد بدون بعد دارایی در پنج سطح خیلی کم تا خیلی زیاد، همراه با شبکه معابر و محدوده شهری

شناسایی و ارزیابی تهدیدات و تعیین تهدید پایه

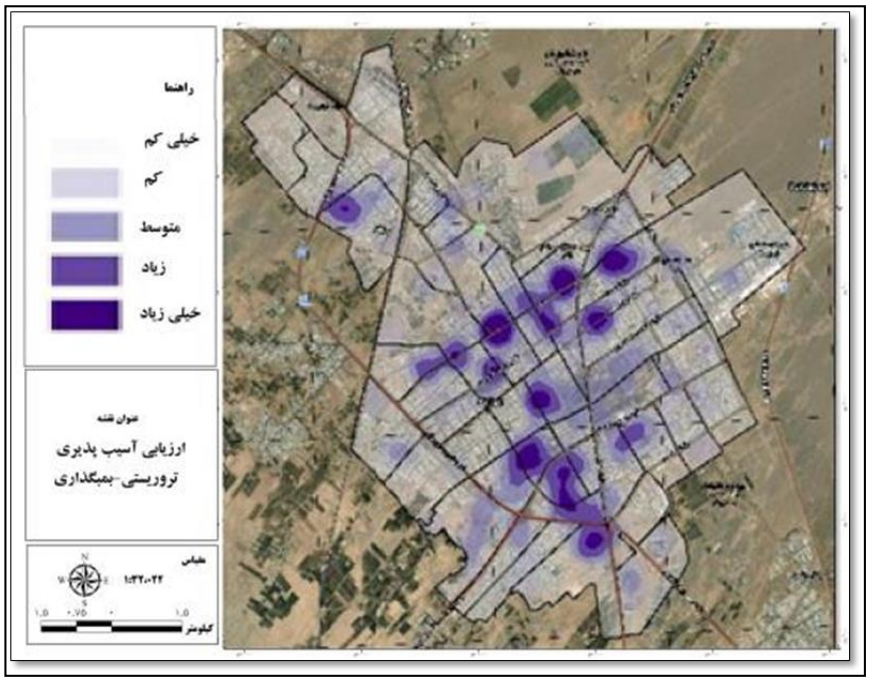
تهدیدات انسان‌ساخت عمدی با چهار شاخص شدت خسارت، سابقه تهدید، جذابیت هدف و توانایی دشمن ارزیابی شد. عدد تهدید هر سناریو از رابطه T_k=۰/۵۹۰×شدت خسارت+۲۳۰/۰×سابقه+۱۱۰/۰×جذابیت+۰۷۰/۰×توانایی محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد تهدید تروریستی–بمب‌گذاری با عدد ۵۱۱/۷ بیشترین مقدار را دارد و پس‌ازآن حملات هوایی و موشکی با ۴۲۲/۷ قرار می‌گیرد. اختلاف دو تهدید ۰۸۹/۰ واحد است؛ ازاین‌رو برای کنترل سوگیری، حساسیت نتیجه بررسی شد. چون عدد تهدید برای همه دارایی‌ها در هر سناریو ثابت است، جایگزینی حملات هوایی و موشکی به‌جای بمب‌گذاری رتبه‌بندی نسبی دارایی‌ها را تغییر نمی‌دهد و فقط مقادیر ریسک را به نسبت ۴۲۲/۷ به ۵۱۱/۷ کاهش می‌دهد. بااین‌حال، تهدید تروریستی–بمب‌گذاری به سبب جذابیت هدف، دسترسی‌پذیری شهری و انطباق بیشتر با راهنمای FEMA ۴۵۲ به‌عنوان تهدید پایه پژوهش انتخاب شد.

جدول ۶. تهدیدات دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان و تعیین تهدید پایه

نوع تهدید	مصادیق تهدید	شدت خسارت	سابقه تهدید	جذابیت هدف	توانایی دشمن	درجه تهدید
تهدید سخت	حملات هوایی و موشکی	۸	۷	۶	۶	۴۲۲/۷
تهدید سخت	حملات شیمیایی و میکروبی	۶	۵	۶	۵	۶۹۹/۵
تهدید سخت	تروریستی–بمب‌گذاری	۷	۸	۹	۸	۵۱۱/۷
تهدید مردم محور	خرابکاری	۵	۴	۵	۴	۶۹۹/۴

تهدید مردم محور	اغتشاش و آشوب	۵	۶	۶	۷	۴۷۳/۵
تهدیدات فناوری پایه	حملات سایبری	۷	۷	۶	۵	۷۶۱/۶
تهدیدات فناوری پایه	حملات الکترومغناطیسی/گرافیتی	۴	۵	۵	۴	۳۳۹/۴
تهدیدات فناوری پایه	زیستی	۶	۴	۵	۴	۲۹۳/۵

خلاصه آماری جدول ۶ نشان می‌دهد میانگین درجه تهدیدات ۹۰/۵، انحراف معیار ۲۰/۱، حداقل ۳۴/۴ و حداکثر ۵۱/۷ است. سه تهدید تروریستی–بمب‌گذاری، حملات هوایی و موشکی و حملات سایبری بالاتر از میانگین کل تهدیدات قرار دارند.



شکل ۳. نقشه ارزیابی تهدید تروریستی–بمب‌گذاری

ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌های کلیدی در برابر تهدید پایه

با فرض وقوع سناریوی تهدید پایه تروریستی–بمب‌گذاری، آسیب‌پذیری ۳۵ دارایی کلیدی بر اساس چهار شاخص ضعف در امکان شناسایی، ضعف بازیابی، ضعف امکان دسترسی و ضعف انطباق‌پذیری ارزیابی شد. عدد آسیب‌پذیری از رابطه V_i=۰/۱۶۰×شناسایی+۰/۳۴۰×بازیابی+۰/۲۸۰×دسترسی+۰/۲۲۰×انطباق‌پذیری به دست آمد. منطقه ویژه اقتصادی با ۷۰/۷، صداوسیما با ۶۶/۷، خط ریل با ۳۸/۷، مرکز مخابرات با ۸۲/۶، مرکز انتقال خون با ۷۸/۶، شهرک صنعتی سیرجان و بیمارستان فوق تخصصی امام رضا (ع) با ۶۶/۶ در بالاترین سطوح آسیب‌پذیری قرار دارند. میانگین آسیب‌پذیری ۷۴/۵ و انحراف معیار آن ۹۶/۰ است که نشان می‌دهد دارایی‌های یادشده به‌صورت معنادار عملی از میانگین آسیب‌پذیری فاصله دارند.

جدول ۷. آسیب‌پذیری دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان در برابر تهدید تروریستی–بمب‌گذاری

دارایی کلیدی	ضعف امکان شناسایی	ضعف بازیابی	ضعف امکان دسترسی	ضعف انطباق‌پذیری	عدد آسیب‌پذیری
وزن AHP	۱۶۰/۰	۳۴۰/۰	۲۸۰/۰	۲۲۰/۰	—
تأسیسات آب	۴	۵	۵	۵	۸۴/۴
خطوط انتقال برق	۶	۵	۴	۵	۸۸/۴
پست ۲۳۰ کیلوولت سیرجان ۱	۷	۶	۵	۵	۶۶/۵
پست‌های ۶۳ کیلوولت	۶	۶	۵	۵	۵۰/۵
انبار شرکت نفت	۹	۷	۶	۵	۶۰/۶
ایستگاه‌های TBS	۸	۴	۳	۵	۵۸/۴
دانشگاه پیام نور	۶	۶	۵	۴	۲۸/۵
دانشگاه صنعتی سیرجان	۷	۶	۵	۴	۴۴/۵
دانشگاه آزاد اسلامی	۶	۶	۵	۴	۲۸/۵
هسته فضای سبز مرکز شهر	۶	۳	۵	۳	۰۴/۴
خدمات شهری سیرجان	۵	۴	۴	۴	۱۶/۴
میدان میوه و تره‌بار	۷	۶	۵	۵	۶۶/۵
شهرک صنعتی سیرجان	۸	۶	۸	۵	۶۶/۶
منطقه ویژه اقتصادی	۱۰	۶	۹	۷	۷۰/۷
پادگان آموزشی نیروی دریایی سیرجان	۷	۵	۵	۷	۷۶/۵
مراکز اداری انتظامی	۶	۵	۷	۶	۹۴/۵
فرمانداری	۷	۴	۵	۶	۲۰/۵
مرکز پزشکی قانونی	۵	۶	۴	۵	۰۶/۵
شورای شهر و شهرداری سیرجان	۶	۶	۵	۴	۲۸/۵
مرکز بهداشت اصلی	۶	۵	۵	۴	۹۴/۴
بیمارستان ولایت	۶	۵	۴	۵	۸۸/۴
بیمارستان غرضی	۶	۶	۵	۶	۷۲/۵
بیمارستان فوق تخصصی امام رضا (ع)	۸	۷	۶	۶	۶۶/۶
مرکز انتقال خون	۶	۷	۶	۸	۷۸/۶
صداوسیما	۸	۷	۸	۸	۶۶/۷
مرکز مخابرات	۹	۷	۶	۶	۸۲/۶
مرکز دیجیتال مخابرات	۸	۷	۶	۶	۶۶/۶
دکل‌های مخابراتی	۹	۳	۳	۶	۶۲/۴
مراکز امدادی–اداری	۴	۵	۵	۵	۸۴/۴
ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۶	۴	۴	۷	۹۸/۴
خط ریل	۸	۷	۷	۸	۳۸/۷
ایستگاه‌های حمل‌ونقل	۸	۵	۷	۶	۲۶/۶
ایستگاه قطار	۸	۷	۶	۵	۴۴/۶
فرودگاه	۱۰	۵	۷	۵	۳۶/۶
شبکه دسترسی	۸	۶	۷	۵	۳۸/۶

خلاصه آماری جدول ۷ نشان می‌دهد میانگین آسیب‌پذیری دارایی‌ها ۷۴/۵، انحراف معیار ۹۶/۰، حداقل ۰۴/۴ و حداکثر ۷۰/۷ است. شاخص ضعف امکان شناسایی دارای میانگین بالاتری نسبت به سایر شاخص‌هاست و نشان می‌دهد آشکار بودن فضایی و عملکردی دارایی‌ها یکی از عوامل مهم افزایش آسیب‌پذیری در سیرجان است.

ارزیابی ریسک دارایی‌های کلیدی در برابر تهدید پایه

میزان ریسک هر دارایی با رابطه $R_i=A_i\times ۷/۵۱۱\times V_i$ محاسبه شد. برای جلوگیری از تفسیر کیفی مبهم، آستانه‌های طبقه‌بندی عدد ریسک به‌صورت صریح تعریف شد: کمتر از ۲۰۰=خیلی کم، ۲۰۰ تا کمتر از ۲۵۰=کم، ۲۵۰ تا کمتر از ۳۵۰=متوسط، ۳۵۰ تا کمتر از ۴۰۰=زیاد و ۴۰۰ و بیشتر=خیلی زیاد. بر این اساس، خط ریل با ۱۸/۴۶۶، ایستگاه‌های حمل‌ونقل با ۶۰/۴۶۰، ایستگاه قطار با ۳۴/۴۴۱، منطقه ویژه اقتصادی با ۷۶/۴۳۳ و صداوسیما با ۷۴/۴۰۲ در طبقه ریسک خیلی زیاد قرار گرفتند. فرودگاه، مرکز انتقال خون و انبار شرکت نفت در طبقه ریسک زیاد قرار دارند. میانگین ریسک کل دارایی‌ها ۸۸/۲۶۲ و انحراف معیار آن ۵۷/۹۹ است؛ بنابراین دارایی‌های ریسک خیلی زیاد بیش از ۴/۱ انحراف معیار بالاتر از میانگین قرارگرفته‌اند.

جدول ۸. ریسک دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان در برابر تهدید تروریستی–بمب‌گذاری

دارایی کلیدی	عدد دارایی	عدد تهدید	عدد آسیب‌پذیری	عدد ریسک	درجه ریسک
تأسیسات آب	۳۰۴/۴	۵۱۱/۷	۸۴/۴	۴۶/۱۵۶	خیلی کم
خطوط انتقال برق	۲۳۶/۴	۵۱۱/۷	۸۸/۴	۲۶/۱۵۵	خیلی کم
پست ۲۳۰ کیلوولت سیرجان ۱	۰۰۰/۵	۵۱۱/۷	۶۶/۵	۵۶/۲۱۲	کم
پست‌های ۶۳ کیلوولت	۴۱۲/۴	۵۱۱/۷	۵۰/۵	۲۶/۱۸۲	خیلی کم
انبار شرکت نفت	۱۵۶/۷	۵۱۱/۷	۶۰/۶	۷۴/۳۵۴	زیاد
ایستگاه‌های TBS	۳۲۴/۵	۵۱۱/۷	۵۸/۴	۱۵/۱۸۳	خیلی کم
دانشگاه پیام نور	۹۳۲/۳	۵۱۱/۷	۲۸/۵	۹۴/۱۵۵	خیلی کم
دانشگاه صنعتی سیرجان	۳۲۴/۴	۵۱۱/۷	۴۴/۵	۶۸/۱۷۶	خیلی کم
دانشگاه آزاد اسلامی	۹۳۲/۴	۵۱۱/۷	۲۸/۵	۵۹/۱۹۵	خیلی کم
هسته فضای سبز مرکز شهر	۹۳۲/۴	۵۱۱/۷	۰۴/۴	۶۶/۱۴۹	خیلی کم
خدمات شهری سیرجان	۷۱۶/۵	۵۱۱/۷	۱۶/۴	۶۰/۱۷۸	خیلی کم
میدان میوه و تره‌بار	۷۱۶/۵	۵۱۱/۷	۶۶/۵	۰۰/۲۴۳	کم
شهرک صنعتی سیرجان	۳۲۴/۶	۵۱۱/۷	۶۶/۶	۳۵/۳۱۶	متوسط
منطقه ویژه اقتصادی	۵۰۰/۷	۵۱۱/۷	۷۰/۷	۷۶/۴۳۳	خیلی زیاد
پادگان آموزشی نیروی دریایی سیرجان	۴۴۰/۶	۵۱۱/۷	۷۶/۵	۶۲/۲۷۸	متوسط
مراکز اداری انتظامی	۳۲۷/۵	۵۱۱/۷	۹۴/۵	۶۷/۲۳۹	کم
فرمانداری	۹۶۰/۵	۵۱۱/۷	۲۰/۵	۷۸/۲۳۲	کم
مرکز پزشکی قانونی	۰۴۰/۴	۵۱۱/۷	۰۶/۵	۵۴/۱۵۳	خیلی کم
شورای شهر و شهرداری سیرجان	۹۶۰/۵	۵۱۱/۷	۲۸/۵	۳۶/۲۳۶	کم
مرکز بهداشت اصلی	۰۸۸/۶	۵۱۱/۷	۹۴/۴	۸۹/۲۲۵	کم
بیمارستان ولایت	۳۲۷/۵	۵۱۱/۷	۸۸/۴	۹۰/۱۹۶	خیلی کم
بیمارستان غرضی	۵۸۸/۵	۵۱۱/۷	۷۲/۵	۰۸/۲۴۰	کم
بیمارستان فوق تخصصی امام رضا (ع)	۸۹۲/۶	۵۱۱/۷	۶۶/۶	۷۶/۳۴۴	متوسط
مرکز انتقال خون	۱۷۶/۷	۵۱۱/۷	۷۸/۶	۴۳/۳۶۵	زیاد
صداوسیما	۰۰۰/۷	۵۱۱/۷	۶۶/۷	۷۴/۴۰۲	خیلی زیاد
مرکز مخابرات	۱۰۸/۶	۵۱۱/۷	۸۲/۶	۸۸/۳۱۲	متوسط
مرکز دیجیتال مخابرات	۱۰۸/۶	۵۱۱/۷	۶۶/۶	۵۴/۳۰۵	متوسط
دکل‌های مخابراتی	۱۵۶/۴	۵۱۱/۷	۶۲/۴	۲۲/۱۴۴	خیلی کم
مراکز امدادی–اداری	۴۸۰/۴	۵۱۱/۷	۸۴/۴	۸۶/۱۶۲	خیلی کم
ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۸۱۲/۵	۵۱۱/۷	۹۸/۴	۴۰/۲۱۷	کم
خط ریل	۴۱۰/۸	۵۱۱/۷	۳۸/۷	۱۸/۴۶۶	خیلی زیاد
ایستگاه‌های حمل‌ونقل	۷۹۶/۹	۵۱۱/۷	۲۶/۶	۶۰/۴۶۰	خیلی زیاد

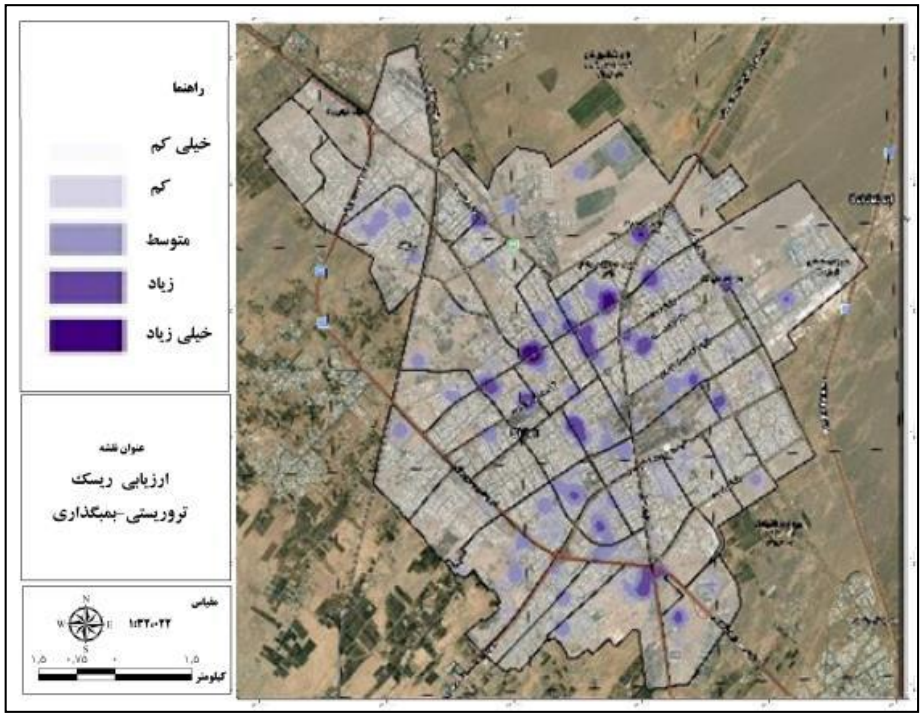
ایستگاه قطار	۱۲۴/۹	۵۱۱/۷	۴۴/۶	۳۴/۴۴۱	خیلی زیاد
فرودگاه	۸۸۲/۷	۵۱۱/۷	۳۶/۶	۵۲/۳۷۶	زیاد
شبکه دسترسی	۳۱۰/۶	۵۱۱/۷	۳۸/۶	۳۸/۳۰۲	متوسط

جدول ۹. آستانه‌های عددی طبقه‌بندی ریسک و تفسیر عملیاتی

طبقه ریسک	دامنه عدد ریسک	تفسیر عملیاتی
خیلی کم	$R < 200$	اولویت پایین برای مداخله فوری؛ پایش دوره‌ای
کم	$200 \leq R < 250$	نیازمند اقدامات کنترلی پایه
متوسط	$250 \leq R < 350$	نیازمند برنامه کاهش ریسک میان‌مدت
زیاد	$350 \leq R < 400$	اولویت بالا برای ایمن‌سازی و کنترل دسترسی
خیلی زیاد	$R \geq 400$	اولویت فوری پدافند غیرعامل و برنامه اقدام اختصاصی

جدول ۱۰. خلاصه آماری متغیرهای اصلی پژوهش

شاخص	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
عدد دارایی	۹۴/۵	۴۴/۱	۹۳/۳	۸۰/۹
درجه تهدید	۹۰/۵	۲۰/۱	۳۴/۴	۵۱/۷
عدد آسیب‌پذیری	۷۴/۵	۹۶/۰	۰۴/۴	۷۰/۷
عدد ریسک	۸۸/۲۶۲	۵۷/۹۹	۲۲/۱۴۴	۱۸/۴۶۶



شکل ۴. نقشه ریسک دارایی‌های کلیدی شهر سیرجان در برابر تهدید تروریستی–بمب‌گذاری

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در شهر سیرجان، الگوی ریسک دارایی‌های کلیدی به‌طور معناداری حول زیرساخت‌های حمل‌ونقل و مراکز راهبردی اقتصادی متمرکز است. ایستگاه‌های حمل‌ونقل، ایستگاه قطار، خط ریلی، فرودگاه و منطقه ویژه اقتصادی، همراه با مراکزی نظیر صداوسیما، مرکز انتقال خون و انبار شرکت نفت، در زمره دارایی‌هایی قرارگرفته‌اند که هم از ارزش بالای عملکردی برخوردارند و هم در برابر تهدید تروریستی–بمب‌گذاری

آسیب‌پذیری زیادی دارند و درنتیجه در طبقات «ریسک بالا» و «ریسک خیلی بالا» قرارگرفته‌اند. این الگو کاملاً با جایگاه سیرجان به‌عنوان گره‌ای ملی در شبکه حمل‌ونقل و اقتصاد کشور سازگار است و نشان می‌دهد که هرگونه اختلال عمدی در این دارایی‌ها می‌تواند پیامدهای فراتر از حوزهٔ محلی و در مقیاس ملی به همراه داشته باشد.

از منظر مفهومی، نتایج با تعریف ریسک به‌عنوان تابعی از ارزش دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری هم‌خوان است. دارایی‌هایی که هم ارزش عملکردی بالا و هم ضعف دسترسی، شناسایی یا بازیابی دارند، در رأس سلسله‌مراتب ریسک قرار می‌گیرند. خط ریل، ایستگاه‌های حمل‌ونقل، ایستگاه قطار و منطقه ویژه اقتصادی دقیقاً چنین وضعیتی دارند. این یافته با تأکید برونو و همکاران (۲۰۰۳) بر نقش زیرساخت‌های شریانی در تاب‌آوری و با منطق FEMA در اولویت‌بندی دارایی‌های بحرانی هم‌خوان است.

مقایسه با پژوهش‌های داخلی نشان می‌دهد الگوی سیرجان بخشی از روندی عام‌تر در شهرهای ایران است. ابطحی و همکاران (۱۴۰۲) در ارزیابی زیرساخت‌های آب و فاضلاب نشان داده‌اند که زیرساخت‌های خدمات رسان در ترکیب تهدید و آسیب‌پذیری می‌توانند در زمره دارایی‌های پر ریسک قرار گیرند. غلامپور و همکاران (۱۴۰۱) نیز در بندر امیرآباد، اسکله‌های تجاری، کانال ورودی و پست‌های برق را از شریان‌های دارای ریسک بالا شناسایی کردند. پژوهش حاضر این الگو را در شهر درون سرزمینی و راهبردی سیرجان بازتولید می‌کند؛ با این تفاوت که تمرکز اصلی بر گره‌های حمل‌ونقلی و مراکز اقتصادی خشکی پایه است.

هم‌خوانی با مطالعات خارجی نیز قابل‌توجه است. پاپاگئورگیو و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که در امنیت دریایی، تهدیدات فیزیکی و سایبری می‌توانند پیامدهای مهمی برای زیرساخت‌های بندری و حمل‌ونقلی ایجاد کنند. ساسیداران و همکاران (۲۰۲۲) نیز تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک را شرط توجیه سرمایه‌گذاری و نگهداری در زیرساخت ریلی می‌دانند. یافته‌های حاضر این منطق را به پدافند غیرعامل تعمیم می‌دهد و نشان می‌دهد زیرساخت‌های ریلی و حمل‌ونقل مسافری سیرجان، هم از منظر اقتصادی و هم از منظر امنیتی اولویت دارند.

از منظر نهادی، نتایج با پژوهش‌های پیونددهنده مدیریت دارایی، ریسک و تاب‌آوری نیز سازگار است. لیو و مک‌نیل (۲۰۲۰) نشان می‌دهند برنامه‌های مدیریت دارایی مبتنی بر ریسک، در صورت درج صریح معیارهای ریسک در برنامه‌ریزی، می‌توانند تاب‌آوری شبکه را ارتقا دهند. در پژوهش حاضر، استفاده از شاخص‌های پدافند غیرعامل برای ارزش دارایی، درجه تهدید و آسیب‌پذیری و پیاده‌سازی آن‌ها در GIS، اصول مدیریت دارایی ریسک بنیان را به نقشه و پهنه‌بندی قابل‌استفاده برای تصمیم گیران شهری تبدیل کرده است.

نوآوری اصلی پژوهش حاضر در سه سطح است: نخست، بومی‌سازی روش FEMA برای مقیاس شهری و دارایی‌های متنوع شهر صنعتی–حمل‌ونقلی سیرجان؛ دوم، اتصال شاخص‌های سازمان پدافند غیرعامل با منطق مدیریت دارایی و تاب‌آوری؛ و سوم، تبدیل نتایج عددی به نقشه ریسک و طبقات عملیاتی برای تصمیم‌گیری شهری. این سه سطح سبب می‌شود پژوهش از یک مرور توصیفی یا فهرست برداری ساده دارایی‌ها فراتر رفته و به ابزار اولویت‌بندی ریسک تبدیل شود.

نتایج باید با توجه به محدودیت‌ها تفسیر شود. امتیازدهی تهدید و آسیب‌پذیری مبتنی بر قضاوت خبرگان است و با وجود کنترل روایی، پایایی و سازگاری، همچنان عدم قطعیت ذهنی دارد. تمرکز بر سناریوی تروریستی–بمب‌گذاری نیز به معنای آن است که سناریوهای چند تهدیدی و فیزیکی–سایبری باید در پژوهش‌های آینده بررسی شوند. افزون بر

این، مدل FEMA روابط آبشاری میان دارایی‌ها را به‌طور کامل شبیه‌سازی نمی‌کند و به تکمیل با تحلیل شبکه‌ای وابستگی زیرساخت‌ها نیاز دارد.

اگرچه نقش گره‌ای دارایی‌ها در تحلیل لحاظ شده است، وابستگی‌های متقابل مانند وابستگی فرودگاه به برق، مخابرات و سوخت در سطح مفهومی باقی‌مانده و به مدل کمی شبکه‌ای تبدیل نشده است (اسوندسن و ولتوسن، ۲۰۰۷). ترکیب مدل حاضر با تحلیل شبکه و شبیه‌سازی زنجیره پیامد می‌تواند سناریوهای خرابی آبشاری را در سیرجان با دقت بیشتری آشکار کند.

از منظر عملی، تمرکز اقدام باید بر دارایی‌هایی باشد که هم‌زمان ارزش و آسیب‌پذیری بالا دارند: خط ریل، ایستگاه‌های حمل‌ونقل، ایستگاه قطار، منطقه ویژه اقتصادی، صداوسیما، فرودگاه، مرکز انتقال خون و انبار شرکت نفت. بخشی از کاهش ریسک فنی و سازه‌ای است، اما بهبود بهره‌برداری، مدیریت اضطراری، آموزش نیروی انسانی و هماهنگی نهادی نیز ضرورت دارد؛ موضوعی که با تأکید مطالعات تاب‌آوری شهری بر پیوند ابعاد کالبدی و نهادی همسو است (محمدی آباده و همکاران، ۱۴۰۲؛ قائم‌مقامی و همکاران، ۱۴۰۱).

درنهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که نگاه پدافند غیرعامل به دارایی‌های شهری، اگر در قالب یک چارچوب شفاف و کمی مانند FEMA و در محیط GIS پیاده‌سازی شود، می‌تواند از سطح شعار و توصیه‌های کلی فراتر رود و به ابزار عملی برای اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها، طراحی پروژه‌های ایمن‌سازی و هدایت منابع محدود در جهت کاهش حداکثری ریسک تبدیل شود. تعمیم این رویکرد به سایر شهرهای کشور، به‌ویژه شهرهای دارای نقش گره‌ای در شبکه حمل‌ونقل و اقتصاد ملی، می‌تواند تصویر دقیق‌تری از نقشه ریسک زیرساختی کشور و نقاط تمرکز اقدامات پدافند غیرعامل ارائه کند و زمینه‌ساز تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در سطوح ملی و منطقه‌ای باشد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با تلفیق ارزش دارایی، تهدید پایه و آسیب‌پذیری نشان داد که ریسک زیرساختی سیرجان عمدتاً در دارایی‌های حمل‌ونقلی و اقتصادی متمرکز است. خط ریل، ایستگاه‌های حمل‌ونقل، ایستگاه قطار، منطقه ویژه اقتصادی و صداوسیما در طبقه ریسک خیلی زیاد و فرودگاه، مرکز انتقال خون و انبار شرکت نفت در طبقه زیاد قرار گرفتند. بنابراین پاسخ به پرسش اصلی پژوهش روشن است: اولویت پدافند غیرعامل باید بر دارایی‌هایی قرار گیرد که نقش شبکه‌ای، پوشش بهره‌برداران و دشواری جایگزینی را با ضعف دسترسی یا بازیابی ترکیب می‌کنند.

تهدید تروریستی–بمب‌گذاری با عدد ۵۱۱/۷ به‌عنوان تهدید پایه انتخاب شد. نزدیک بودن امتیاز حملات هوایی و موشکی، ضرورت تحلیل حساسیت را مطرح کرد؛ نتیجه نشان داد تغییر سناریو رتبه نسبی دارایی‌ها را جابه‌جا نمی‌کند، زیرا عدد تهدید در هر سناریو برای همه دارایی‌ها ثابت است، اما مقادیر مطلق ریسک را تغییر می‌دهد. درنتیجه، نقشه حاضر باید ابزار اولویت‌بندی برای سناریوی منتخب تلقی شود و نه تصویر قطعی همه تهدیدات ممکن.

دلالت مدیریتی یافته‌ها آن است که اقدامات کم‌هزینه و فوری مانند کنترل دسترسی، مدیریت پارکینگ پیرامونی، پایش، بازرسی ورودی و مانور اضطراری باید با اقدامات میان‌مدت مانند مقاوم‌سازی، ایجاد حائل و کاهش نقاط آسیب‌پذیر و اقدامات تداوم خدمت مانند افزونگی برق و ارتباطات، ذخیره قطعات و پشتیبان‌گیری داده تلفیق شود. انتقال انبار نفت نیز باید پس از ارزیابی مکان‌یابی و اثرات ایمنی انجام گیرد. این توالی، امکان تخصیص منابع محدود بر اساس سطح ریسک و زمان اجرای مداخله را فراهم می‌کند.

تعمیم نتایج به شهرهای دیگر نیازمند باز برآورد وزن‌ها، تهدید پایه و آستانه‌های طبقه‌بندی متناسب با شرایط محلی است. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده عدم قطعیت امتیاز خبرگان، سناریوهای چند تهدیدی، تهدیدات فیزیکی–سایبری، وابستگی شبکه‌ای و خرابی آبشاری را با تحلیل حساسیت، شبیه‌سازی و داده‌های پویا بررسی کنند.

پیشنهادهای کاربردی اولویت‌دار عبارت‌اند از:

- استقرار کنترل دسترسی و اسکنر خودرو در ورودی و خروجی دارایی‌های ریسک زیاد و خیلی زیاد؛
- انتقال پارکینگ از مجاورت ساختمان صداوسیما و انبار شرکت نفت و تعیین فاصله ایمن؛
- کاهش بازشوهای آسیب‌پذیر و تقویت اجزای نما برای محدود کردن اثر موج انفجار؛
- ایجاد حائل و فضای سبز پیرامونی با طراحی ایمن برای کاهش شناسایی، دسترسی و اثر موج انفجار؛
- برگزاری دوره‌ای مانور تخلیه اضطراری و ارزیابی زمان پاسخ؛
- انتقال انبار نفت به خارج از محدوده شهری پس از مطالعه مکان‌یابی و ارزیابی ایمنی؛
- ایجاد ذخیره قطعات و اقلام ضروری برای فرودگاه، شبکه ریلی و منطقه ویژه اقتصادی؛
- پشتیبان‌گیری مستمر و برون سایتی از داده‌ها و آزمون دوره‌ای بازیابی اطلاعات؛
- تأمین برق بدون وقفه و منابع جایگزین، از جمله سامانه‌های خورشیدی و مولد اضطراری.

اجرای پیشنهادها باید مرحله‌ای باشد: مرحله نخست، کنترل دسترسی، پایش و اصلاح جانمایی پارکینگ؛ مرحله دوم، اصلاح کالبدی، ایجاد حائل و حفاظت از تجهیزات؛ و مرحله سوم، استقرار برنامه تداوم خدمت، ذخیره قطعات، پشتیبان‌گیری داده و تأمین برق اضطراری برای دارایی‌های حمل‌ونقلی، ارتباطی و خدمات حیاتی.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

سمیه محمدی آباده: طرح مسئله، گردآوری داده‌های اسنادی و میدانی، آماده‌سازی لایه‌های مکانی، اجرای تحلیل‌های GIS و نگارش پیش‌نویس اولیه؛ رحیم سرور: مفهوم‌سازی، طراحی روش پژوهش، نظارت علمی، تقویت چارچوب نظری و بازبینی نهایی مقاله؛ علی توکلان: طراحی ابزار، تحلیل AHP، کنترل محاسبات مدل FEMA و اعتبارسنجی روش؛ سیدموسی پورموسوی: تبیین مؤلفه‌های پدافند غیرعامل، تفسیر سیاستی یافته‌ها، تدوین پیشنهادهای اجرایی و بازبینی انتقادی متن.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با انجام یا انتشار این پژوهش تعارض منافع ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از مدیران و کارشناسانی که با تکمیل پرسشنامه، ارزیابی شاخص‌ها و ارائه دیدگاه‌های تخصصی در انجام پژوهش همکاری کردند، قدردانی می‌کنند.

منابع

ابطحی، سید احسان؛ امیرکاردوست، علی‌اصغر و صداقت‌شایگان، داوود. (۱۴۰۲). ارائه مدل ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: استان مرزی). *آب و توسعه پایدار*، ۱۰ (۴)، ۵۹–۷۰. https://doi.org/۱۰/۲۲۰۶۷/jwsd.v۱۰i۴/۲۳۰۷-۱۲۵۵

بابائیان آتنی، رضا؛ شریعت‌پناهی، ولی؛ فلاح‌تبار، مجید و خدایی نصرالله، زهرا. (۱۴۰۰). اولویت‌بندی تهدیدهای محتمل و ارزیابی موقعیت زیرساخت‌های شهر سمنان در پهنه‌های آسیب‌پذیر با رویکرد پدافند غیرعامل. *نشریه علمی پدافند غیرعامل*، ۱۲ (۴)، ۲۷–۳۷. https://dor.isc.ac/dor/۲۰/۱۰۰۱/۱/۲۰۰۸۶۸۴۹/۱۴۰۰/۱۲/۴/۳/۵

پاکرو، نازلی و موسوی، میرسعید. (۱۴۰۲). ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تبریز). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۳ (۶۸)، ۱۱۵–۱۳۵. https://doi.org/۱۰/۵۲۵۴۷/jgs.۲۳/۶۸/۱۱۵

غلامپور، حوریه؛ الوانی، سبحان و فلاح، مونا. (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل ریسک شریان‌های حیاتی با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونه موردی: بندر امیرآباد). *نشریه علمی شهر ایمن*، ۵ (۴)، ۶۷–۸۱. https://doi.org/۱۰/۲۲۰۳۴/ispdrc.۲۰۲۳/۱۹۸۸۳۱۲.۱۰۲۰

قائم‌مقامی، وفا؛ نوحه‌گر، احمد و امیری، محمدجواد. (۱۴۰۱). ارزیابی تاب‌آوری منطقه ۲۰ کلان‌شهر تهران در برابر مخاطرات محیطی با استفاده از توابع فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۳ (۲)، ۹۹–۱۲۶. https://doi.org/۱۰/۲۲۱۰۸/gep.۲۰۲۲/۱۳۰۲۷۱/۱۴۵۳

محمدی آباده، سمیه؛ سرور، رحیم؛ توکلان، علی و پورموسوی، سیدموسی. (۱۴۰۲). بررسی اثرات مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری در پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: شهر سیرجان). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۷ (۳)، ۵۹۹–۶۱۴؛ https://doi.org/۱۰/۲۲۰۳۴/jget.۲۰۲۳/۱۵۶۲۹۸

تمجیدی، حمیدرضا؛ ثقه‌الاسلامی، عمیدالاسلام؛ سیدالحسینی، سید مسلم و سروری، هادی. (۱۴۰۴). ارزیابی تاب‌آوری کالبدی محله‌های ناکارآمد شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ تهران). *مجله شهر پایدار*، ۸ (۱)، ۳۷–۵۸. https://doi.org/۱۰/۲۲۰۳۴/jsc.۲۰۲۵/۴۹۶۲۶۱/۱۸۲۳

سیداحمدی ممقانی، زهرا؛ ثبوتی، هومن و ترابی، زهره. (۱۴۰۱). شناسایی مدل علی مکانی فضاهای عمومی شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: شهر تبریز). *مجله شهر پایدار*، ۵ (۱)، ۸۱–۹۷. https://doi.org/۱۰/۲۲۰۳۴/jsc.۲۰۲۱/۲۶۲۸۵۱/۱۳۷۸

سازمان پدافند غیرعامل کشور. (۱۴۰۱). آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب شناسایی و ارزیابی دارایی‌های حیاتی، حساس و مهم [سند سازمانی].

References

Abtahi, S. E., Amirkardoost, A. A., & Sedaghat-Shayegan, D. (2024). Providing a risk assessment and management model for water and sewage infrastructures with the passive defense approach (Case study: The border province). *Journal of Water and Sustainable Development, 10*(4), 59–70. https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1255 [In Persian]

Babaeian-Ateni, R., Shariatpanahi, V., Fallah-Tabar, M., & Khodaei Nasrollah, Z. (2021). Prioritizing probable threats and assessing the location of Semnan city infrastructures in vulnerable zones using a passive defense approach. *Passive Defense Scientific Journal, 12*(4), 27–37. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20086849.1400.12.4.3.5 [In Persian]

Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra, 19*(4), 733–752. https://doi.org/10.1193/1.1623497

Farhadi, E., Pourahmad, A., Ziari, K., Faraji Sabokbar, H., & Tondelli, S. (2022). Indicators affecting urban resilience with a scenario approach in Tehran metropolis. *Sustainability, 14*(19), 12756. https://doi.org/10.3390/su141912756

Federal Emergency Management Agency. (2005). *FEMA 452: Risk assessment: A how-to guide to mitigate potential terrorist attacks against buildings*. U.S. Department of Homeland Security. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema452.pdf

Ghaem-Moqami, V., Nohegar, A., & Amiri, M. J. (2022). Resilience assessment of District 20 of Tehran metropolis against environmental hazards using fuzzy functions in GIS.

Geography and Environmental Planning, 33(2), 99–126. https://doi.org/10.22108/gep.2022.130271.1453 [In Persian]

Gholampour, H., Alvani, S., & Fallah, M. (2022). Risk assessment and analysis of lifelines using a passive defense approach (Case study: Amirabad Port). *Safe City Scientific Journal, 5*(4), 67–81. https://doi.org/10.22034/ispdrc.2023.1988312.1020 [In Persian]

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management—Guidelines*. https://www.iso.org/standard/65694.html

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 55000:2024 Asset management—Vocabulary, overview and principles*. https://www.iso.org/standard/83053.html

Liu, Y., & McNeil, S. (2020). Using resilience in risk-based asset management plans. *Transportation Research Record, 2674*(4), 178–192. https://doi.org/10.1177/0361198120912239

Mohammadi Abadeh, S., Sarvar, R., Tavakolan, A., & Pourmousavi, S. M. (2023). Effects of urban resilience components on passive defense (Case study: Sirjan). *Journal of Land Geographical Engineering, 7*(3), 599–614. https://doi.org/10.22034/jget.2023.156298 [In Persian]

Ongkowijoyo, C. S., & Doloi, H. (2018). Risk-based resilience assessment model focusing on urban infrastructure system restoration. *Procedia Engineering, 212*, 1115–1122. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.144

Pakroo, N., & Mousavi, M. S. (2023). Urban resilience assessment against earthquakes (Case study: District 1 of Tabriz). *Applied Research of Geographical Sciences, 23*(68), 115–135. https://doi.org/10.52547/jgs.23.68.115 [In Persian]

Papageorgiou, P., Dermatis, Z., Anastasiou, A., Liargovas, P., & Papadimitriou, S. (2024). Using a proposed risk computation procedure and bow-tie diagram as a method for maritime security assessment. *Transportation Research Record, 2678*(2), 318–339. https://doi.org/10.1177/03611981231173641

Passive Defense Organization of the Islamic Republic of Iran. (2022). *Approved by-laws and guidelines for identifying and evaluating vital, sensitive, and important assets* [Organizational document]. [In Persian]

Rahmani, M., Lotfata, A., Khoshnevis, S., Javanmardi, K., & Akdogan, M. E. (2023). Resilience assessment of health-care facilities within urban context: Learning from a non-profit hospital in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 14*(5), 669–699. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-11-2021-0151

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences, 1*(1), 83–98. https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590

Sasidharan, M., Burrow, M. P. N., Ghataora, G. S., & Marathu, R. (2022). A risk-informed decision support tool for the strategic asset management of railway track infrastructure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 236*(2), 183–197. https://doi.org/10.1177/09544097211038373

Seyed Ahmadi Mamghani, Z., Sobouti, H., & Torabi, Z. (2022). Identifying a spatial causal model of urban public spaces using a passive defense approach (Case study: Tabriz). *Journal of Sustainable City, 5*(1), 81–97. https://doi.org/10.22034/jsc.2021.262851.1378 [In Persian]

Svendsen, N. K., & Wolthusen, S. D. (2007). Analysis and statistical properties of critical infrastructure interdependency multiflow models. In *2007 IEEE Workshop on Information Assurance* (pp. 247–254). https://doi.org/10.1109/IAW.2007.381940

Tamjidi, H. R., Saghatoleslami, A., Seyed Al-Hussein, S. M., & Sarvari, H. (2025). Evaluating the physical resilience of dysfunctional urban neighborhoods (Case study: District 12, Tehran). *Journal of Sustainable City, 8*(1), 37–58. https://doi.org/10.22034/jsc.2025.496261.1823 [In Persian]

U.S. Department of Homeland Security. (2013). *NIPP 2013: Partnering for critical infrastructure security and resilience*. https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/national-infrastructure-protection-plan-2013-508.pdf

Zhang, Z., Li, X., & Li, H. (2015). A quantitative approach for assessing the critical nodal and linear elements of a railway infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection, 8*, 3–15. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2014.11.001