

Accepted Manuscript

Accepted Manuscript (Uncorrected Proof)

Title: A Conceptual Explanation of the Economic Failure of Urban Infrastructure under Hybrid Threats: A Passive Defense Approach

Authors: Ali Tahbaz^{1,*}, Hadi Faghihmaleki¹

1. *Faculty of Civil Engineering, Ayandegan University, Tonekabon, Iran.*

To appear in: **Disaster Prevention and Management Knowledge**

Received date: 2026/01/12

Accepted date: 2026/07/2

First Online Published: 2026/10/18

This is a “Just Accepted” manuscript, which has been examined by the peer-review process and has been accepted for publication. A “Just Accepted” manuscript is published online shortly after its acceptance, which is prior to technical editing and formatting and author proofing. Archives of Rehabilitation provides “Just Accepted” as an optional service which allows authors to make their results available to the research community as soon as possible after acceptance. After a manuscript has been technically edited and formatted, it will be removed from the “Just Accepted” Website and published as a published article. Please note that technical editing may introduce minor changes to the manuscript text and/or graphics which may affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Please cite this article as:

Tahbaz, A., & Faghihmaleki, H. [A Conceptual Explanation of the Economic Failure of Urban Infrastructure under Hybrid Threats: A Passive Defense Approach]. Disaster Prevention and Management Knowledge. Forthcoming 2026.

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

عنوان: تبیین مفهومی شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری در برابر تهدیدات ترکیبی با رویکرد پدافند غیرعامل

نویسندگان: علی طاهباز^۱، هادی فقیه ملکی^۱

۱. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آیندگان، تنکابن، ایران.

نشریه: دانش پیشگیری و مدیریت بحران

تاریخ دریافت: 1404/10/22

تاریخ پذیرش: 1405/4/11

تاریخ انتشار اولیه: 1405/07/25

این نسخه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» مقاله است که پس از طی فرایند داوری، برای چاپ، قابل پذیرش تشخیص داده شده است. این نسخه در مدت کوتاهی پس از اعلام پذیرش به صورت آنلاین و قبل از فرایند ویراستاری منتشر می‌شود. نشریه آرشیو توانبخشی گزینه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» را به عنوان خدمتی به نویسندگان ارائه می‌دهد تا نتایج آن‌ها در سریع‌ترین زمان ممکن پس از پذیرش برای جامعه علمی در دسترس باشد. پس از آنکه مقاله‌ای فرایند آماده سازی و انتشار نهایی را طی می‌کند، از نسخه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» خارج و در یک شماره مشخص در وبسایت نشریه منتشر می‌شود. شایان ذکر است صفحه آرای و ویراستاری فنی باعث ایجاد تغییرات صوری در متن مقاله می‌شود که ممکن است بر محتوای آن تأثیر بگذارد و این امر از حیطة مسئولیت دفتر نشریه خارج است.

لطفا این گونه استناد شود:

Tahbaz, A., & Faghihmaleki, H. [A Conceptual Explanation of the Economic Failure of Urban Infrastructure under Hybrid Threats: A Passive Defense Approach]. Disaster Prevention and Management Knowledge. Forthcoming 2026.

ABSTRACT

Background and Objective: under conditions of hybrid threats, the vulnerability of urban infrastructures can no longer be explained solely in terms of physical destruction. Rather, functional disruption, reduced service continuity, and disturbances in economic flows may lead to effective infrastructure failure even in the absence of large-scale physical devastation. However, a significant part of the existing literature has examined the physical, functional, and economic dimensions of infrastructure failure separately. This study aims to conceptualize the economic failure of urban infrastructures under hybrid threats and to propose an analytical framework that explains the link between physical damage, functional disruption, and economic consequences from a passive defense perspective.

Method: in terms of purpose, this study is developmental, and in terms of nature, it is analytical and conceptual. Its data were collected through document analysis and a targeted review of specialized literature in the fields of hybrid threats, infrastructure resilience and failure, interdependency of critical systems, and the economic consequences of infrastructure disruption. The findings were then structured using conceptual synthesis.

Findings: The findings show that the economic failure of infrastructure is not necessarily a direct consequence of physical destruction; rather, in many cases, it emerges through functional disruption and the persistence of operational inefficiency. Accordingly, the conceptual Economic Infrastructure Failure Index (EIFI) is proposed on the basis of three dimensions: physical damage, functional disruption, and economic consequence. The proposed model indicates that hybrid threats, by creating technical constraints, disrupting service delivery, and intensifying economic shocks, can prevent infrastructure from performing its effective economic role even when it retains relative structural survival.

Conclusion: The results indicate that, in analyzing the vulnerability of urban infrastructures, an exclusive focus on physical hardening is insufficient. Passive defense policy should also prioritize the preservation of the economic continuity of infrastructure functions.

KEYWORDS: Passive Defense, Economic Infrastructure Failure, Hybrid Threats, Urban Infrastructure, Economic Infrastructure Failure Index (EIFI)

چکیده

زمینه و هدف: در شرایط تهدیدات ترکیبی، آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری دیگر صرفاً در قالب تخریب فیزیکی قابل تبیین نیست، بلکه اختلال در کارکرد، کاهش تداوم خدمت و اختلال در جریان‌های اقتصادی می‌تواند حتی بدون ویرانی گسترده، به شکست مؤثر زیرساخت منجر شود. با این حال، بخش مهمی از ادبیات موجود، ابعاد فیزیکی، عملکردی و اقتصادی شکست زیرساخت را به‌صورت منفک بررسی کرده است. هدف این پژوهش، صورت‌بندی مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری در مواجهه با تهدیدات ترکیبی و ارائه چارچوبی تحلیلی برای تبیین پیوند میان آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و پیامد اقتصادی با رویکرد پدافند غیرعامل است.

روش: این پژوهش از نظر هدف توسعه‌ای و از نظر ماهیت، تحلیلی، مفهومی است. داده‌های آن از طریق تحلیل اسنادی و مرور هدفمند ادبیات تخصصی در حوزه‌های تهدیدات ترکیبی، تاب‌آوری و شکست اقتصادی زیرساخت، وابستگی متقابل سامانه‌های حیاتی و پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت گردآوری شد و با استفاده از ترکیب مفهومی صورت‌بندی گردید.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که شکست اقتصادی زیرساخت الزاماً پیامد مستقیم تخریب فیزیکی نیست، بلکه در بسیاری از موارد از مسیر اختلال عملکردی و تداوم ناکارآمدی عملیاتی شکل می‌گیرد. بر این اساس، چارچوب مفهومی EIFI¹ بر پایه سه بعد آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و پیامد اقتصادی ارائه شد. مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که تهدیدات ترکیبی می‌توانند با ایجاد محدودیت فنی، اختلال در خدمت‌رسانی و تشدید شوک‌های اقتصادی، زیرساخت را حتی در صورت بقای نسبی سازه‌ای، از ایفای نقش اقتصادی مؤثر بازدارند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که در تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری، تمرکز صرف بر مقاوم‌سازی فیزیکی کفایت ندارد و سیاست‌گذاری پدافند غیرعامل باید حفظ تداوم عملکرد اقتصادی زیرساخت را نیز در اولویت قرار دهد.

واژگان کلیدی: پدافند غیرعامل، شکست اقتصادی زیرساخت، تهدیدات ترکیبی، زیرساخت‌های شهری، شکست اقتصادی زیرساخت

¹ Economic Infrastructure Failure Index

مقدمه

در دهه‌های اخیر، ماهیت تهدیدات علیه شهرها و زیرساخت‌های حیاتی دستخوش تحول اساسی شده است. الگوی سنتی تهدیدات نظامی که عمدتاً بر تخریب مستقیم و فیزیکی استوار بود، به تدریج جای خود را به تهدیدات ترکیبی^۲ داده است (هافمن، ۲۰۰۷).

جنگ ترکیبی^۳ به کارگیری هم‌زمان و تلفیقی ابزارهای متنوع در عرصه تقابل است و دامنه‌ای از اقدامات آفندی عامل و غیرعامل را دربرمی‌گیرد (بولحسني و همکاران، ۲۰۲۴). در این چارچوب، تهدیدها می‌توانند به‌طور هم‌زمان از ابزارهایی مانند عملیات نظامی محدود، اختلالات سایبری، حملات پهپادی، فشارهای اقتصادی و جنگ شناختی بهره ببرند.

در چنین محیطی، زیرساخت‌های شهری لزوماً به‌طور کامل تخریب نمی‌شوند، اما ممکن است توان آن‌ها برای تداوم عملکرد اقتصادی و خدماتی به‌شدت کاهش یابد (ام‌سی‌دی‌سی، ۲۰۱۹). با این حال، بخش بزرگی از پژوهش‌های مهندسی عمران و پدافند غیرعامل^۴ همچنان بر آسیب‌پذیری فیزیکی سازه‌ها یا تاب‌آوری^۵ فنی زیرساخت‌ها متمرکز است و کمتر به پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت‌ها توجه دارد. از سوی دیگر، مطالعات اقتصاد شهری نیز غالباً بر شاخص‌های کلان مانند رشد، اشتغال و سرمایه‌گذاری تمرکز دارند، بی‌آنکه نقش مستقیم اختلال یا آسیب زیرساخت‌های حیاتی را در بروز شوک‌های اقتصادی شهری به‌صورت ساختاری و مفهومی تبیین کنند. این در حالی است که زیرساخت‌ها در اداره کشورها نقشی بنیادین دارند و ساماندهی امور عمومی را در شرایط عادی و تهدید ممکن می‌سازند (نظری‌نژاد و پورشاسب، ۲۰۲۱).

پیامد این گسست میان ادبیات مهندسی، دفاعی و اقتصادی آن است که مفهوم «شکست زیرساخت» غالباً به تخریب فیزیکی فروکاسته می‌شود؛ حال آنکه در بستر تهدیدات ترکیبی، زیرساختی که از نظر کالبدی پابرجاست اما دیگر قادر به حفظ جریان‌های اقتصادی، لجستیکی و خدماتی نیست، عملاً با نوعی شکست عمیق‌تر روبه‌روست. از این‌رو، نیاز به چارچوبی مفهومی که بتواند پیوند میان آسیب سازه‌ای، اختلال عملکردی و پیامدهای اقتصادی را در قالب مدلی منسجم تبیین کند، به‌روشنی احساس می‌شود. فقدان چنین چارچوبی، تصمیم‌سازی در حوزه پدافند غیرعامل، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت سرمایه‌گذاری زیرساختی را دشوار می‌کند و اقدامات حفاظتی را به ملاحظات فنی محدود می‌سازد، بی‌آنکه آثار اقتصادی آن‌ها به‌درستی ارزیابی شود (اویانگ، ۲۰۱۴؛ سیمارو و همکاران، ۲۰۲۴).

بر این اساس پژوهش حاضر در پاسخ به این ضرورت، در پی صورت‌بندی مفهوم «شکست اقتصادی زیرساخت»^۶ و ارائه چارچوبی مفهومی برای تحلیل آن در شرایط تهدیدات ترکیبی است. هدف اصلی پژوهش، تبیین مفهومی و مدل‌سازی تحلیلی شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری در مواجهه با تهدیدات ترکیبی با تأکید بر رویکرد پدافند غیرعامل است. در همین راستا، اهداف فرعی شامل بازتعریف مفهوم شکست زیرساخت فراتر از تخریب فیزیکی، شناسایی ابعاد اقتصادی اختلال زیرساخت‌های حیاتی، ارائه چارچوبی مفهومی پیونددهنده مهندسی عمران، مطالعات دفاعی و اقتصاد شهری، و فراهم‌سازی بستر نظری برای تصمیم‌سازی پدافند غیرعامل بر مبنای کارایی اقتصادی است.

برخلاف رویکردهای تاب‌آوری که عمدتاً بر ظرفیت بازسازی پس از بحران تمرکز دارند، مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت ناظر بر عبور از آستانه‌ای است که در آن، زیرساخت علی‌رغم بقای فیزیکی، اهمیت کارکردی و اقتصادی

^۲ Hybrid Threats

^۳ Hybrid Warfare

^۴ Passive defense

^۵ Resilience

^۶ Economic Infrastructure Failure

خود را از دست می‌دهد. نوآوری این پژوهش در چند محور قابل بیان است:

۱. صورت‌بندی منسجم مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت در نسبت با پدافند غیرعامل و مهندسی عمران؛
۲. عبور از رویکرد تخریب‌محور و تمرکز بر اختلال در کارکرد اقتصادی زیرساخت‌ها؛
۳. تبیین پیوند نظام‌مند میان تهدیدات ترکیبی، آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و شوک اقتصادی؛
۴. ارائه چارچوب مفهومی با قابلیت استفاده در سیاست‌گذاری شهری و مدیریت زیرساخت؛
۵. فراهم‌سازی مبنای نظری برای ارزیابی اقتصادی اقدامات پدافند غیرعامل در پژوهش‌های آینده.

اهمیت این پژوهش برای سیاست‌گذاری پدافند غیرعامل از آن جهت است که در شرایط گسترش تهدیدات ترکیبی، اتکا به شاخص‌های صرفاً فنی و سازه‌ای برای ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها دیگر پاسخ‌گوی نیازهای تصمیم‌گیری نیست. در بسیاری از موارد، زیرساختی که تخریب فیزیکی گسترده‌ای را تجربه نکرده، ممکن است بر اثر اختلال عملکردی، کاهش قابلیت بهره‌برداری، افزایش نااطمینانی اقتصادی و برهم‌خوردن زنجیره‌های تأمین، نقش حیاتی خود را در پایداری شهری از دست بدهد. بنابراین، سیاست‌گذاری در این حوزه باید از سنجش صرف آسیب فیزیکی فراتر رود و پیامدهای اقتصادی و عملکردی اختلال زیرساخت را نیز در اولویت‌بندی اقدامات پدافندی لحاظ کند.

پژوهش حاضر با طرح مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت و تدوین چارچوب مفهومی متناظر با آن، در پی فراهم‌کردن مبنایی تحلیلی برای بهبود تصمیم‌سازی در زمینه تخصیص منابع، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های حفاظتی و طراحی راهبردهای پیشگیرانه در سطح شهری است.

سؤال اصلی پژوهش آن است که تهدیدات ترکیبی چگونه می‌توانند بدون تخریب گسترده فیزیکی، به شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری منجر شوند؟ بر این اساس، استدلال اصلی پژوهش چنین صورت‌بندی می‌شود که در شرایط تهدیدات ترکیبی، شدت و تداوم اختلال عملکردی و پیامدهای اقتصادی، بیش از میزان تخریب فیزیکی، در شکل‌گیری شکست زیرساخت نقش تعیین‌کننده دارند. از این منظر، تحلیل و سیاست‌گذاری پدافند غیرعامل باید از تمرکز صرف بر آسیب سازه‌ای عبور کرده و تداوم عملکرد اقتصادی زیرساخت را نیز در برگیرد.

این پژوهش از نوع توسعه‌ای-تحلیلی است و با رویکرد مفهومی به مدل‌سازی موضوع می‌پردازد. داده‌های پژوهش از طریق تحلیل اسنادی و بررسی ادبیات مرتبط با تاب‌آوری زیرساخت، پدافند غیرعامل، تهدیدات ترکیبی و اقتصاد شهری گردآوری شده و با استفاده از تحلیل مفهومی، چارچوب نظری آن استخراج شده است. از این‌رو، مقاله حاضر ماهیتی نظریه‌پردازانه دارد و در پی ارائه مدل کمی نیست. تا آنجا که نگارندگان بررسی کرده‌اند، تاکنون هیچ چارچوب مفهومی مستقلی برای تعریف و تبیین ساختار شکست اقتصادی در بستر تهدیدات ترکیبی ارائه نشده است.

پیشینه

ادبیات زیرساخت‌های شهری، با وجود گسترش قابل توجه، هنوز در تبیین پیوند میان اختلال زیرساختی و پیامدهای اقتصادی آن در بستر تهدیدات ترکیبی با پراکندگی مفهومی مواجه است. بیشتر مطالعات بر یکی از ابعاد آسیب‌پذیری و تاب‌آوری زیرساخت، پیامدهای اقتصادی بحران، تهدیدات ترکیبی، یا حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی تمرکز دارند و کمتر پژوهشی این ابعاد را در قالب یک چارچوب تحلیلی واحد به هم پیوند داده است. از این‌رو، مرور پیشینه حاضر در چهار محور سامان یافته است. تاب‌آوری و آسیب‌پذیری زیرساخت، پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت، تهدیدات ترکیبی، و حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی.

در محور نخست، مطالعات تاب‌آوری و آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری بر ماهیت شبکه‌ای و وابستگی متقابل سامانه‌ها، تداوم خدمت^۷ و قابلیت بازیابی تأکید دارند. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تحلیل زیرساخت بدون توجه به تعاملات میان سامانه‌ای و استمرار عملکرد، ناقص است. با این حال، تمرکز غالب آن‌ها بر جذب شوک و بازیابی پس از بحران است و کمتر به آستانه‌ای می‌پردازند که در آن زیرساخت، با وجود بقای نسبی فیزیکی، کارکرد اقتصادی خود را از دست می‌دهد.

در محور دوم، ادبیات پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت، مطالعات نشان داده‌اند که هزینه‌های بحران‌های زیرساختی به خسارت مستقیم فیزیکی محدود نمی‌شود، بلکه از طریق اختلال در تولید، حمل‌ونقل، لجستیک و زنجیره تأمین گسترش می‌یابد. با وجود این، بیشتر این مطالعات بر سنجش خسارت پس از بحران متمرکزند و کمتر به سازوکار مفهومی تبدیل اختلال زیرساختی به شکست اقتصادی می‌پردازند.

در محور سوم، ادبیات امنیتی و دفاعی، تهدیدات ترکیبی را الگویی از اختلال تدریجی، چندلایه و زیرآستانه‌ای می‌داند که بیش از تخریب کامل، بر مختل‌سازی عملکرد سامانه‌های حیاتی متکی است. با این حال، این ادبیات نیز عمدتاً بر ماهیت تهدید، حکمرانی، امنیت و الزامات دفاعی متمرکز است و کمتر مسیر تبدیل این تهدیدات به شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری را توضیح می‌دهد.

در محور چهارم، مطالعات حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی بر وابستگی متقابل سامانه‌ها، آثار آبشاری اختلال^۸ و ضرورت رویکرد فرابخشی تأکید دارند. با وجود اهمیت این رویکرد، مفهوم «شکست اقتصادی زیرساخت» هنوز در این حوزه نیز به صورت یک سازه تحلیلی مستقل تثبیت نشده است.

در ادبیات داخلی نیز مطالعاتی در حوزه پدافند غیرعامل، تاب‌آوری شهری، تاب‌آوری اقتصادی و جنگ ترکیبی انجام شده است. اما در آن‌ها نیز مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت، به‌ویژه در نسبت با تهدیدات ترکیبی، هنوز به صورت مستقل صورت‌بندی نشده است. جدول ۱، جمع‌بندی از مطالعات پیشین را نشان می‌دهد.

جدول ۱. جمع‌بندی انتقادی مطالعات پیشین

نویسنده/سال	حوزه/تمرکز	یافته اصلی	محدودیت نسبت به پژوهش حاضر
Rinalde et al. (2001)	وابستگی متقابل زیرساخت‌های حیاتی	اختلال در یک زیرساخت می‌تواند به سرایت میان‌بخشی و آثار آبشاری منجر شود.	پیامدهای اقتصادی شکست زیرساخت به صورت مستقل صورت‌بندی نشده است.
Ouyang (2014)	زیرساخت‌های وابسته	اختلال و تاب‌آوری زیرساخت باید در سطح سامانه‌ای تحلیل شود.	مرز مفهومی میان اختلال عملکردی و شکست اقتصادی روشن نیست.
Meerow et al. (2016)	تاب‌آوری شهری	تاب‌آوری شهری بر سازگاری، تداوم و بازیابی تأکید دارد.	آستانه شکست اقتصادی زیرساخت مشخص نشده است.
Hall et al (2016)	آسیب‌پذیری زیرساخت	بدون توجه به اثرات شبکه‌ای، برآورد ریسک ناقص است.	پیوند آسیب‌پذیری شبکه‌ای با پیامدهای اقتصادی مستقیم تبیین نشده است.
Willner et al (2018)	اختلال زیرساخت و زنجیره تأمین	اختلال زیرساخت می‌تواند پیامدهای اقتصادی گسترده ایجاد کند.	بیشتر بر پیامدها تمرکز دارد تا در صورت‌بندی مفهومی شکست.

⁷ Continuity of service

⁸ Cascading effects of disruption

MCDC (2019)	تهدیدات ترکیبی	تهدیدات ترکیبی ماهیتی تدریجی و چندلایه دارند و بر اختلال عملکردی متمرکزند.	پیوند مستقیم آن با شکست اقتصادی زیرساخت روشن نیست.
OECD (2019)	حکمرانی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی	تاب‌آوری زیرساخت به حکمرانی، هماهنگی و مدیریت ریسک وابسته است.	مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت به‌طور صریح عملیاتی نشده است.
Hallegatte et al. (2019)	پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت	آثار اقتصادی اختلال زیرساخت فراتر از خسارت مستقیم است.	رابطه این زیان‌ها با اختلال عملکردی زیرساخت کمتر یکپارچه‌سازی شده است.
European Commission (2020)	حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی	حفاظت مؤثر نیازمند رویکردی فراتر از حفاظت فیزیکی است.	تمرکز بر حکمرانی و حفاظت است، نه بر شکست اقتصادی.
Novotny & Janosikova (2020)	ارزیابی ریسک زیرساخت حیاتی	نگاه منطقه‌ای و سامانه‌ای در ارزیابی ریسک ضروری است.	ابعاد اقتصادی اختلال در مرکز تحلیل قرار ندارد
Cimellaro et al. (2024)	طراحی و ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت	استمرار خدمت و عملکرد، معیار اصلی تاب‌آوری زیرساخت است.	تمرکز اصلی بر تاب‌آوری است، نه بر مفهوم شکست اقتصادی
بولحسنى و همکاران (۲۰۲۴)	جنگ ترکیبی	تهدیدات ترکیبی از ابزارهای متنوع برای اختلال در محیط‌های شهری استفاده می‌کنند.	پیامد آن بر شکست اقتصادی زیرساخت مستقل مدل‌سازی نشده است.
کامکار هفشنجانی و همکاران (۲۰۲۵)	ابعاد اقتصادی تاب‌آوری	پایداری عملکرد بدون توجه به ابعاد اقتصادی تاب‌آوری کامل نیست.	چارچوب مستقلی برای شکست اقتصادی زیرساخت ارائه نشده است.
Pestana & Soufo (2024)	حکمرانی داده و ترکیبات ترکیبی	حکمرانی داده در حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی اهمیت دارد	تمرکز بر داده و حکمرانی است، نه پیامد اقتصادی اختلال.
Bartoszewicz (2025)	تحول ماهیت تهدیدات	تهدیدات نوین چارچوب‌های سنتی آمادگی و ارزیابی را به چالش کشیده‌اند.	سازوکار تبدیل اختلال ترکیبی به شکست اقتصادی زیرساخت روشن نشده است.

مطابق جدول شماره ۱، جمع‌بندی پیشنهادی نشان می‌دهد که سه خلأ اساسی همچنان پابرجاست: نخست، بیشتر مطالعات یا بر تاب‌آوری و آسیب‌پذیری زیرساختی تمرکز دارند یا بر پیامدهای اقتصادی بحران، بی‌آنکه سازوکار پیوند این دو را تبیین کنند. دوم، مرز مفهومی روشنی میان اختلال عملکردی و شکست اقتصادی زیرساخت شکل نگرفته است. سوم، در ادبیات تهدیدات ترکیبی، مسیرهای تبدیل اختلالات تدریجی و چندلایه به وضعیتی که در آن زیرساخت توان پشتیبانی اقتصادی خود را از دست می‌دهد، هنوز به روشنی توضیح داده نشده است. بنابراین، خلأ اصلی نه فقدان مطالعات آسیب‌پذیری زیرساخت یا پیامدهای اقتصادی بحران، بلکه نبود یک چارچوب تحلیلی یکپارچه است که مسیر تبدیل تهدید ترکیبی به اختلال عملکردی و سپس شکست اقتصادی زیرساخت را توضیح دهد.

مبانی نظری

تهدیدات ترکیبی و تحول مفهوم شکست زیرساخت

تهدیدات ترکیبی به عنوان یکی از مهم ترین الگوهای نوین در منازعات معاصر، ماهیتی چندبعدی، تدریجی و غیرخطی دارند. برخلاف تهدیدات کلاسیک که عمدتاً بر تخریب مستقیم نظامی و فیزیکی متمرکز بودند، تهدیدات ترکیبی مجموعه‌ای از ابزارهای سخت و نرم را به صورت هم‌زمان و هماهنگ به کار می‌گیرند. این ابزارها می‌توانند شامل حملات محدود نظامی، عملیات پهنپادی، اختلالات سایبری، فشارهای اقتصادی، جنگ اطلاعاتی و ایجاد ناامنی روانی در سطح جامعه باشند (ام‌سی‌دی‌سی، ۲۰۱۹).

در اسناد راهبردی، تهدیدات ترکیبی به عنوان چالش‌های تدریجی، چندبعدی و زیرآستانه‌ای تعریف می‌شوند که هدف آن‌ها اختلال در عملکرد سیستم‌های حیاتی پیش از تخریب فیزیکی گسترده است. ویژگی متمایز این تهدیدات، تمرکز بر «اختلال کارکرد» به جای «نابودی کامل» است. در این الگو، هدف اصلی نه الزاماً تخریب سازه‌ها، بلکه کاهش توان اداره شهر، اختلال در جریان خدمات حیاتی و تضعیف بنیان‌های اقتصادی و اجتماعی است. از این منظر، زیرساخت‌های شهری به عنوان ستون فقرات عملکرد اقتصادی شهرها، به یکی از اهداف اصلی تهدیدات ترکیبی تبدیل شده‌اند (اوای‌سی‌دی، ۲۰۱۹).

زیرساخت‌های شهری نظیر شبکه‌های حمل‌ونقل، بنادر، فرودگاه‌ها، تأسیسات انرژی، آب و فاضلاب و مراکز لجستیکی، نقشی فراتر از کارکرد فنی دارند و مستقیماً با جریان‌های اقتصادی، اشتغال، زنجیره تأمین و ثبات شهری در ارتباط هستند. در شرایط تهدیدات ترکیبی، حتی اختلال موقت در عملکرد این زیرساخت‌ها می‌تواند پیامدهایی به مراتب فراتر از خسارت فیزیکی ایجاد کند (ام‌سی‌دی‌سی، ۲۰۱۹).

مطالعات کلاسیک وابستگی متقابل زیرساخت‌ها نشان می‌دهد که اختلال در یک زیرساخت می‌تواند به صورت آبشاری سایر بخش‌ها و در نهایت اقتصاد شهری را تحت تأثیر قرار دهد (رینالدی و همکاران، ۲۰۰۱). مطالعات جدید نیز بیانگر آن است که تهدیدات ترکیبی با تمرکز بر آسیب‌پذیری‌های مدیریتی، سایبری و اقتصادی زیرساخت‌ها، می‌توانند بدون تخریب سازه‌ای گسترده، کارکرد سیستم‌های حیاتی را مختل کنند (ساوولینن، ۲۰۱۹).

تجربه منازعات جدید نشان‌دهنده شکل‌گیری وضعیتی است که در آن زیرساخت‌ها از نظر سازه‌ای پابرجا هستند، اما به دلایل امنیتی، عملیاتی یا مدیریتی قادر به ایفای نقش اقتصادی خود نیستند. این پدیده، ضعف رویکردهای سنتی ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت را آشکار می‌سازد (بارتوزویچ، ۲۰۲۵).

تهدیدات ترکیبی نه تنها بر اختلال عملکردی تمرکز دارند، بلکه با بهره‌گیری از ابزارهای نوین از جمله خرابکاری فیزیکی-سایبری، می‌توانند به شکست‌های زنجیره‌ای در زیرساخت‌ها منجر شوند. گزارش‌های اخیر نیز نشان می‌دهند که برخی عملیات خرابکاری علیه زیرساخت‌های اروپا در سطحی پایین‌تر از آستانه بازدارندگی سنتی عمل کرده و بدون تخریب گسترده، پیامدهای اقتصادی ایجاد کرده‌اند. این تحولات، محدودیت رویکردهای سنتی ارزیابی آسیب‌پذیری را برجسته و ضرورت بازتعریف شکست زیرساخت به عنوان پدیده‌ای اقتصادی-عملکردی را تقویت می‌کنند.

در ادبیات مهندسی عمران و مدیریت بحران، مفهوم شکست زیرساخت غالباً با معیارهایی مانند تخریب فیزیکی، فروپاشی سازه‌ای یا از کار افتادن کامل سیستم تعریف می‌شود (اویانگ، ۲۰۱۴). شکست اقتصادی زیرساخت وضعیتی است که در آن یک زیرساخت شهری، علی‌رغم بقای نسبی فیزیکی، به سبب اختلال پایدار یا معنادار در عملکرد، دیگر قادر به پشتیبانی مؤثر از جریان‌های اقتصادی، خدمات حیاتی و کارکردهای لجستیکی شهر نیست.

این رویکرد، هرچند برای تحلیل تهدیدات کلاسیک مناسب بوده، در مواجهه با تهدیدات ترکیبی با محدودیت‌های اساسی روبه‌رو است. در شرایطی که زیرساخت به صورت جزئی آسیب دیده یا حتی سالم باقی مانده، اما به دلیل تهدیدات امنیتی، اختلال در زنجیره تأمین، کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران یا محدودیت‌های عملیاتی قادر

به ادامه فعالیت اقتصادی نیست، تعریف شکست صرفاً فیزیکی کارایی خود را از دست می‌دهد. از این رو، تداوم اتکای صرف به شاخص‌های فنی می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های نادرست در حوزه پدافند غیرعامل و سرمایه‌گذاری زیرساختی منجر شود (پنت و همکاران، ۲۰۱۸).

تحول ماهیت تهدیدات، بازنگری در مفاهیم بنیادین مرتبط با زیرساخت‌های شهری را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. در این چارچوب، شکست زیرساخت باید به‌عنوان پدیده‌ای چندبعدی در نظر گرفته شود که علاوه بر بعد فیزیکی، ابعاد عملکردی و اقتصادی را نیز دربرمی‌گیرد. چنین بازتعریفی امکان تحلیل جامع‌تر پیامدهای واقعی تهدیدات ترکیبی را فراهم می‌سازد و زمینه را برای تصمیم‌سازی مؤثرتر در حوزه پدافند غیرعامل مهیا می‌کند (بارتوزویچ، ۲۰۲۵).

هرچند مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت با ادبیات تاب‌آوری ارتباط نزدیک دارد، با آن یکسان نیست. تاب‌آوری عموماً به ظرفیت یک زیرساخت یا سامانه برای جذب شوک، حفظ تداوم نسبی عملکرد، سازگاری با شرایط اختلال و بازیابی پس از بحران اشاره دارد. در مقابل، شکست اقتصادی زیرساخت ناظر بر وضعیتی است که در آن زیرساخت، حتی با وجود بقای نسبی کالبدی و امکان تداوم محدود خدمت، دیگر قادر به پشتیبانی مؤثر از جریان‌های اقتصادی، زنجیره‌های تأمین یا کارکردهای حیاتی شهری نیست (شریفی، ۲۰۲۰). به بیان دیگر، تاب‌آوری بر ظرفیت تداوم و بازیابی تأکید دارد، درحالی که شکست اقتصادی بر عبور از آستانه‌ای دلالت می‌کند که پس از آن، تداوم ظاهری زیرساخت الزاماً به معنای تداوم اثربخشی اقتصادی آن نیست. تصویر شماره ۱ بیانگر چارچوب مفهومی مسیر شکل‌گیری شکست اقتصادی زیرساخت در بستر تهدیدات ترکیبی است.



تصویر ۱. چارچوب مفهومی مسیر شکل‌گیری شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری در بستر تهدیدات ترکیبی

تبیین مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری

رویکردهای رایج در تحلیل شکست زیرساخت، اگرچه برای تحلیل تهدیدات کلاسیک کارآمد بوده‌اند، در مواجهه با تهدیدات ترکیبی که بر اختلال عملکردی و اقتصادی تمرکز دارند، کفایت لازم را ندارند. پژوهش‌های مرتبط با حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی نشان می‌دهد که بیشتر چارچوب‌های ارزیابی ریسک، تمرکز اصلی خود را بر ابعاد فنی و شبکه‌ای معطوف کرده‌اند و پیامدهای اقتصادی شکست زیرساخت را به‌صورت ضمنی یا ثانویه در نظر می‌گیرند (ساوولینن، ۲۰۱۹).

در وضعیتی که یک زیرساخت شهری، علی‌رغم حفظ نسبی یا کامل پایداری سازه‌ای، توانایی خود را در پشتیبانی از کارکردهای اقتصادی، خدماتی و لجستیکی شهر از دست می‌دهد، معیار اصلی شکست نه میزان تخریب فیزیکی، بلکه ناتوانی در حفظ جریان‌های اقتصادی و تداوم فعالیت‌های شهری است (هالگیت و همکاران، ۲۰۱۹). از این منظر، مفهوم شکست زیرساخت با تغییر تمرکز تحلیلی از استحکام فیزیکی به عملکرد اقتصادی در شرایط تهدید ترکیبی، بسط می‌یابد (کوکس و همکاران، ۲۰۱۹).

تخریب فیزیکی و شکست اقتصادی دو مفهوم متمایز اما مرتبط‌اند. ممکن است یک زیرساخت دچار تخریب محدود شود اما پیامدهای اقتصادی شدیدی ایجاد کند، یا برعکس، تخریب گسترده‌ای رخ دهد اما با مدیریت مناسب، اثرات اقتصادی آن کنترل شود. در شرایط تهدیدات ترکیبی، تمرکز مهاجمان غالباً بر ایجاد حداکثر اختلال

اقتصادی با حداقل هزینه و تخریب فیزیکی است. همین امر، اهمیت تحلیل شکست اقتصادی زیرساخت‌ها را دوچندان می‌کند (بارتوزویچ، ۲۰۲۵).

برخلاف مفاهیم تاب‌آوری که بر ظرفیت بازبایی تأکید دارند، شکست زیرساخت‌های اقتصادی آستانه‌ای را دربر می‌گیرد که در آن زیرساخت، علی‌رغم بقای فیزیکی، اهمیت اقتصادی خود را از دست می‌دهند (کامکارهفشجانی و همکاران، ۲۰۲۵). برای تبیین دقیق‌تر این مفهوم می‌توان آن را در قالب سه بعد اصلی بررسی نمود:

۱. **بعد فیزیکی**^۹: شامل میزان آسیب سازه‌ای و فنی واردشده به زیرساخت که بر قابلیت بهره‌برداری آن اثر می‌گذارد.

۲. **بعد عملکردی**^{۱۰}: ناظر بر اختلال در ارائه خدمات، کاهش ظرفیت عملیاتی و محدودیت‌های مدیریتی یا امنیتی.

۳. **بعد اقتصادی**^{۱۱}: شامل پیامدهایی نظیر کاهش تولید، اختلال در زنجیره تأمین، افزایش هزینه مبادله، افت سرمایه‌گذاری و کاهش اشتغال.

پژوهش‌های جدید در حوزه حفاظت زیرساخت‌های حیاتی و تاب‌آوری آن‌ها در برابر تهدیدات ترکیبی نشان می‌دهد که شکست اقتصادی اغلب از مسیر اختلالات غیرخطی و وابستگی‌های متقابل سیستم‌ها منتقل می‌شود (هالگیت و همکاران، ۲۰۱۹). برای نمونه، برخی مطالعات اخیر درباره زیرساخت‌های دریایی بحرانی در دریای بالتیک تأکید دارند که تهدیدات ترکیبی، مانند آسیب به کابل‌های زیر دریا، بدون تخریب گسترده فیزیکی، می‌توانند به کاهش جریان اقتصادی و افزایش ریسک سرمایه‌گذاری منجر شوند (اشتورک و واکوویاک، ۲۰۲۵). این یافته‌ها با مفهوم EIFI هم‌خوانند، زیرا بعد اقتصادی را به عنوان نتیجه انباشت اختلال عملکردی برجسته می‌کنند. ترکیب این سه بعد، تصویری جامع از وضعیت واقعی زیرساخت در شرایط بحران و تهدید ارائه می‌دهد (ساوولینن، ۲۰۱۹).

جایگاه شکست اقتصادی زیرساخت در پدافند غیرعامل

پدافند غیرعامل در پی کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری بدون توسل به ابزارهای تهاجمی است. در این چارچوب، تمرکز صرف بر تقویت سازه‌ای، بدون توجه به کارکرد اقتصادی زیرساخت، می‌تواند به افزایش هزینه‌ها بدون دستیابی به امنیت پایدار منجر شود. مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت، این امکان را فراهم می‌سازد که اقدامات پدافندی بر حفظ تداوم عملکرد اقتصادی و کاهش شوک‌های شهری متمرکز شوند. به کارگیری این مفهوم در برنامه‌ریزی شهری و طراحی زیرساخت‌ها می‌تواند به تغییر رویکرد از «مقاوم‌سازی صرف» به «تاب‌آوری اقتصادی-عملکردی» منجر شود؛ رویکردی که با ماهیت تهدیدات ترکیبی هم‌خوانی بیشتری دارد. تاب‌آوری اقتصادی به عنوان قابلیت حفظ ستانده نزدیک به سطح بالقوه پس از شوک تعریف می‌شود. این تعریف دو جنبه اصلی دارد: میزان تأثیرپذیری از شوک و سرعت بازگشت به وضعیت عادی پیش از آن (منصوری و افقه، ۲۰۱۷). با این حال، در این پژوهش تأکید اصلی بر موقعیتی است که در آن زیرساخت، پیش از بازبایی کامل، از ایفای نقش اقتصادی مؤثر بازمی‌ماند و در نتیجه در وضعیت شکست قرار می‌گیرد.

تبیین مفهوم شکست اقتصادی زیرساخت، افزون بر غنای نظری ادبیات مهندسی عمران و پدافند غیرعامل، پیامدهای کاربردی مهمی نیز دارد. این مفهوم می‌تواند مبنای توسعه شاخص‌های ارزیابی جدید، اولویت‌بندی پروژه‌های پدافندی، و تصمیم‌سازی اقتصادی در سطح شهری قرار گیرد. همچنین، چارچوب ارائه‌شده می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مطالعات تجربی و مدل‌سازی‌های کمی در پژوهش‌های آینده باشد.

⁹ Physical Damage

¹⁰ Functional Disruption

¹¹ Economic Impact

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای و از نظر ماهیت، تحلیلی-مفهومی است و با رویکردی میان‌رشته‌ای انجام شده است. با توجه به ماهیت تهدیدات ترکیبی و پیچیدگی پیامدهای غیرمستقیم آن‌ها بر زیرساخت‌های شهری، تبیین پدیده شکست زیرساخت با اتکا به روش‌های صرفاً تجربی یا مهندسی کافی نیست (کمیسون اروپا^{۱۲}، ۲۰۲۰). از این‌رو، پژوهش حاضر بر توسعه مفهومی و تبیین روابط میان ابعاد مسئله متمرکز است و می‌کوشد چارچوبی تحلیلی برای فهم شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری در شرایط تهدیدات ترکیبی ارائه دهد.

روش تحقیق مبتنی بر تحلیل اسنادی و مفهومی ادبیات پژوهش در حوزه‌های پدافند غیرعامل، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، تاب‌آوری زیرساخت، اقتصاد شهری و مطالعات تهدیدات ترکیبی است. در این مسیر، منابع از جمله، مقالات علمی، گزارش‌های سیاستی نهادهای تخصصی بین‌المللی نظیر NATO^{۱۳} و OECD^{۱۴} و نیز چارچوب‌های نظری مرتبط بر اساس سه معیار ارتباط مستقیم با زیرساخت حیاتی، تهدیدات ترکیبی و پیامدهای اقتصادی انتخاب و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. برای افزایش اعتبار چارچوب، استخراج مفاهیم در سه مرحله شامل شناسایی مفاهیم اولیه، طبقه‌بندی مضامین و ادغام روابط میان آنها انجام شد.

در انتخاب منابع، سه معیار اصلی مدنظر قرار گرفت: نخست، ارتباط مستقیم منبع با یکی از حوزه‌های زیرساخت‌های حیاتی، تهدیدات ترکیبی، تاب‌آوری زیرساخت یا پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت؛ دوم، ظرفیت تبیینی منبع برای توضیح زنجیره اثر از تهدید تا اختلال و پیامد؛ و سوم، اعتبار علمی یا سیاستی منبع، اعم از مقالات علمی، گزارش‌های نهادهای و اسناد تخصصی. پس از گردآوری منابع، فرآیند ترکیب مفهومی در سه مرحله انجام شد: شناسایی مفاهیم و گزاره‌های کلیدی، طبقه‌بندی آن‌ها بر حسب جایگاهشان در زنجیره شکست زیرساخت، و در نهایت ادغام و صورت‌بندی روابط میان آن‌ها در قالب یک چارچوب تحلیلی. برآیند این فرآیند نشان داد که مضامین اصلی ادبیات، با وجود تفاوت‌های رویکردی، عمدتاً حول سه سطح آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و پیامد اقتصادی قابل تجمیع‌اند؛ از این‌رو، این سه بعد به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی چارچوب مفهومی EIFI انتخاب شدند.

فرایند پژوهش در سه گام اصلی سامان یافته است. در گام نخست، ماهیت، منطق عملیاتی و ابزارهای تهدیدات ترکیبی با تأکید بر مسیرهای غیرسازه‌ای ایجاد اختلال در زیرساخت‌های شهری تحلیل و دسته‌بندی شد. در گام دوم، رویکردهای رایج در تعریف شکست، آسیب‌پذیری و تاب‌آوری زیرساخت‌ها به‌صورت انتقادی بررسی و محدودیت‌های رویکردهای غالب مبتنی بر تخریب فیزیکی یا شاخص‌های صرفاً فنی تمرکز شناسایی شد. در گام سوم، بر پایه یافته‌های دو مرحله پیشین، چارچوبی مفهومی برای تبیین مسیر انتقال اثر از تهدیدات ترکیبی به شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری توسعه یافت. در این چارچوب، شکست اقتصادی زیرساخت پیامد انباشت تدریجی آسیب‌های فیزیکی، اختلالات عملکردی و شوک‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود (جیانوپولوس، ۲۰۱۲).

بر این اساس، چارچوب مفهومی EIFI به‌عنوان یک سازه تحلیلی-مفهومی معرفی می‌شود که هدف آن ساختاربندی تحلیل و فراهم‌سازی مبنایی نظری برای مطالعات تجربی آینده است و در پژوهش حاضر ماهیت محاسباتی ندارد و صرفاً برای نمایش منطق علی و تعامل ابعاد اصلی به‌کار می‌رود؛ از این‌رو، تعیین اوزان، سنجش کمی و آزمون تجربی آن به پژوهش‌های آتی واگذار می‌شود. در نتیجه، پژوهش حاضر در پی آزمون فرضیه یا ارائه مدل کمی نیست، بلکه با تکیه بر صورت‌بندی مفهومی و توسعه چارچوبی تحلیلی در ادبیات پدافند غیرعامل و زیرساخت‌های شهری تمرکز دارد.

¹² European Commission

¹³ North Atlantic Treaty Organization

¹⁴ Organization for Economic Cooperation and Development

استخراج ابعاد چارچوب پیشنهادی بر مبنای انتخاب شهودی انجام نشده، بلکه حاصل استنتاج تحلیلی از ادبیات میان‌رشته‌ای مرتبط با شکست زیرساخت در شرایط بحران است. در فرآیند سنتز مفهومی، منابع منتخب از حیث تبیین زنجیره اثر تهدید بر زیرساخت مقایسه شدند. حاصل این مقایسه نشان داد که بیشتر تبیین‌ها، با وجود تفاوت در رویکرد، حول سه سطح نسبتاً پایدار سامان می‌یابند: سطح دارایی و آسیب فیزیکی، سطح خدمت و کارکرد عملیاتی، و سطح پیامد و بازتاب اقتصادی. بر این مبنای سه مؤلفه آسیب فیزیکی (PD)، اختلال عملکردی (FD) و پیامد اقتصادی (EI) به‌عنوان ابعاد اصلی چارچوب مفهومی EIFI انتخاب شدند.

چارچوب ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای طراحی مطالعات موردی، مدل‌سازی کمی، تحلیل سناریو و ارزیابی اقتصادی اقدامات پدافند غیرعامل در پژوهش‌های آینده باشد. با این حال، در این مقاله تمرکز بر تبیین رابطه مفهومی میان ابعاد مسئله است.

چارچوب مفهومی و مدل تحلیلی شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری

تحلیل شکست اقتصادی زیرساخت، به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای آن، نیازمند چارچوبی است که ابعاد فیزیکی، عملکردی و اقتصادی را به‌طور همزمان در بستر تهدیدات ترکیبی در نظر گیرد (ویلنر، ۲۰۱۲). در غیاب چنین چارچوبی، ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها یا به شاخص‌های مهندسی محدود می‌شود یا تنها پیامدهای اقتصادی کلان را در نظر می‌گیرد، بدون آنکه پیوند مفهومی میان این دو سطح روشن شود. از این‌رو، پژوهش حاضر چارچوبی مفهومی-تحلیلی ارائه می‌دهد که زنجیره انتقال اثر از تهدید تا شکست اقتصادی را تبیین می‌کند (پستانا و سوفو، ۲۰۲۴).

این چارچوب بر یک زنجیره تحلیلی چندمرحله‌ای استوار است و نشان می‌دهد که تهدیدات ترکیبی چگونه می‌توانند حتی بدون تخریب گسترده فیزیکی، به شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری بینجامند. در مرحله نخست، تهدیدات ترکیبی شامل حملات محدود نظامی، عملیات پهبادی، اختلالات سایبری، فشارهای اقتصادی و اقدامات روانی-اطلاعاتی، محیط عملکرد زیرساخت را ناامن و بی‌ثبات می‌سازند. در مرحله دوم، این تهدیدات به آسیب فیزیکی یا محدودیت فنی منجر می‌شوند؛ از تخریب جزئی اجزای سازه‌ای تا کاهش دسترسی، محدودیت‌های ایمنی و افت قابلیت بهره‌برداری. در مرحله سوم، پیامد این وضعیت بروز اختلال عملکردی به شوک اقتصادی شهری می‌انجامد که در قالب اختلال در جریان کالا و خدمات، زنجیره تأمین، افزایش هزینه مبادله، کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران و افت فعالیت‌های اقتصادی بروز می‌کند. در این نقطه، شکست اقتصادی زیرساخت محقق می‌شود (ساوولینن، ۲۰۱۹).

جدول ۲. ساختار گام‌های روش تحقیق در توسعه چارچوب مفهومی شکست اقتصادی زیرساخت

گام	محور تحلیل	روش	منابع نمونه	خروجی
۱	تحلیل ماهیت تهدیدات ترکیبی	تحلیل اسنادی ^{۱۵} و محتوایی	Hoffman (2007) ; NATO (2017) ; بوالحسنی، (۱۴۰۳)	دسته‌بندی ابزارها و مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم اختلال.
۲	واکاوی انتقادی رویکردهای موجود	تحلیل مفهومی و سنتز ادبیات.	نظری‌نژاد و پورشاسب، (۱۳۹۹) ; Ouyang (2014)	شناسایی محدودیت رویکردهای فیزیکی محور و خلأ ابعاد اقتصادی

¹⁵Content Analysis

توسعه چارچوب علی و معرفی چارچوب مفهومی EIFI	Hallegatte et al. (2019); Rose (2004); کامکارهنگانی، (۱۴۰۴)	سنتز و توسعه چارچوب	سنتز مفهومی و مدل سازی نظری.	۳
--	---	------------------------	---------------------------------	---

براساس این زنجیره تحلیلی که در جدول ۲ اشاره شده است، مدل مفهومی شکست اقتصادی زیرساخت‌های شهری به صورت یک نظام پویا قابل تبیین است که در آن متغیرهای فیزیکی، عملکردی و اقتصادی بر یکدیگر اثر می‌گذارند. در این مدل، شکست اقتصادی یک رویداد لحظه‌ای نیست، بلکه حاصل انباشت تدریجی اختلالات در طول زمان است.

لایه اول: ورودی تهدید

تهدیدات ترکیبی: حمله محدود نظامی، حمله پهنپادی، حمله سایبری، خرابکاری، فشار اقتصادی، جنگ اطلاعاتی و روانی



لایه دوم: ابعاد اولیه اثر

آسیب فیزیکی: تخریب جزئی یا موضعی، فرسایش تجهیزات، کاهش دسترس پذیری دارایی
اختلال غیر کالبدی: اختلال سایبری، مدیریتی، ارتباطی و اطلاعاتی، اختلال در تأمین نهاده‌ها



لایه سوم: اختلال در کارکرد

اختلال عملکردی: کاهش ظرفیت عملیاتی، وقفه در ارائه خدمت، افت قابلیت اطمینان، اختلال در هماهنگی
بین بخشی، کاهش تداوم خدمت



لایه چهارم: پیامدهای شبکه‌ای و اقتصادی

پیامدهای اقتصادی: اختلال در لجستیک شهری، زنجیره تأمین، افزایش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم، کاهش تولید و بهره‌وری، افت سرمایه‌گذاری، تضعیف پویایی اقتصادی شهر



لایه پنجم: خروجی نهایی

شکست اقتصادی زیرساخت: ناتوانی در ایفای نقش اقتصادی و پشتیبانی از خدمات حیاتی با وجود بقای نسبی کالبدی

تصویر ۲. نمودار چارچوب مفهومی EIFI در بستر تهدیدات ترکیبی

تصویر شماره ۲ منطلق مفهومی چارچوب EIFI را در بستر تهدیدات ترکیبی نشان می‌دهد. در این چارچوب، تهدیدات ترکیبی می‌توانند از مسیر آسیب فیزیکی، اختلال سایبری و مدیریتی، یا فشارهای اقتصادی و لجستیکی بر

زیرساخت‌های شهری اثر بگذارند. برآیند این فشارها به کاهش ظرفیت عملیاتی و بروز اختلال عملکردی منجر می‌شود و سپس، از طریق آثار آبخاری و وابستگی متقابل سامانه‌ها، پیامدهای اقتصادی گسترده‌ای ایجاد می‌کند. زمانی که این فرآیند به ناتوانی زیرساخت در پشتیبانی مؤثر از کارکردهای اقتصادی و خدمات شهری بینجامد، وضعیت شکست اقتصادی زیرساخت محقق می‌شود.

این چارچوب بر این فرض استوار است که شکست زیرساخت در بستر تهدیدات ترکیبی، فرآیندی تدریجی و چند بعدی است و نمی‌توان آن را تنها بر پایه میزان تخریب فیزیکی توضیح داد. در بسیاری از موارد، آسیب سازه‌ای محدود است، اما اختلال در تداوم خدمت، کاهش ظرفیت بهره‌برداری، افت قابلیت اطمینان و افزایش هزینه‌های اقتصادی، در مجموع زیرساخت را به مرحله‌ای از ناتوانی مؤثر می‌رساند که می‌توان آن را شکست اقتصادی نامید. از این رو، EIFI این منطق چندسطحی را در قالب یک چارچوب منسجم صورت‌بندی می‌کند (اویانگ، ۲۰۱۴).

چارچوب مفهومی EIFI بر سه بعد اصلی استوار است: آسیب فیزیکی (PD)، اختلال عملکردی (FD) و پیامد اقتصادی (EI). بعد نخست است به تخریب، فرسایش یا محدودیت فنی وارد شده به اجزا و دارایی‌های زیرساخت اشاره دارد. بعد دوم، ناظر بر کاهش ظرفیت عملیاتی، وقفه در خدمات، افت کیفیت عملکرد و کاهش قابلیت اطمینان است. بعد سوم به آثار اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از اختلال زیرساخت، از جمله افزایش هزینه مبادله، اختلال در زنجیره تأمین، کاهش بهره‌وری، افت سرمایه‌گذاری و کاهش فعالیت‌های اقتصادی شهری مربوط می‌شود (بارتوزویچ، ۲۰۲۵).

بر این اساس، چارچوب مفهومی EIFI به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$EIFI = f(PD, FD, EI)$$

در این رابطه PD بیانگر شدت آسیب فیزیکی، FD اختلال عملکردی، و EI بازتاب‌دهنده دامنه پیامد اقتصادی است. این تابع در پژوهش حاضر ماهیت کمی ندارد و صرفاً برای نمایش رابطه مفهومی و تعاملی میان سه بعد EIFI به کار می‌رود. به بیان دیگر، هدف از این صورت‌بندی، ارائه ابزار اندازه‌گیری عددی نیست، بلکه ساختاربندی تحلیلی منطق انتقال اثر از آسیب به اختلال و از اختلال به شکست اقتصادی است. در جدول ۳ این ابعاد در بستر تهدیدات ترکیبی توضیح داده شده است.

جدول ۳. ابعاد و مولفه‌های مفهومی چارچوب شکست اقتصادی زیرساخت (EIFI) در بستر تهدیدات ترکیبی

ابعاد EIFI	توضیح	مثال در تهدیدات ترکیبی	شاخص‌های مفهومی / نمونه‌های تحلیلی	ارتباط با مدل علی
آسیب فیزیکی (PD)	تخریب یا محدودیت سازه‌ای و فنی	حمله پهنپای محدود به پل‌ها	درصد از دست دادن ظرفیت؛ سطح آسیب	ورودی اولیه و زمینه‌ساز FD
اختلال عملکردی (FD)	کاهش ظرفیت یا وقفه در خدمات	اختلال سایبری در شبکه انرژی	زمان خرابی؛ کاهش بهره‌وری ^{۱۶} ؛ افت قابلیت اطمینان	سطح میانی و تشدیدکننده EI
پیامد اقتصادی (EI)	شوک اقتصادی و اختلال در زنجیره تأمین	کاهش سرمایه‌گذاری ناشی از نااطمینانی	کاهش فعالیت‌های اقتصادی، تأخیر لجستیکی، افزایش ریسک سرمایه‌گذاری	خروجی نهایی با امکان بازخورد به PD و FD

منبع: رز (۲۰۰۴) و برونشو و همکاران (۲۰۰۳)

¹⁶ Decreased productivity

هرچند EIFI در این پژوهش ماهیتی مفهومی دارد و به صورت کمی عملیاتی سازی نشده است، برای توسعه آتی آن می توان برای هر یک از ابعاد سه گانه سنجه هایی پیشنهادی در نظر گرفت. در بعد آسیب فیزیکی، سنجه هایی مانند درصد ازدست دادن ظرفیت، سطح آسیب به اجزای کلیدی یا میزان کاهش دسترس پذیری دارایی قابل استفاده است. در بعد اختلال عملکردی، سنجه هایی نظیر مدت وقفه خدمت، افت ظرفیت عملیاتی، کاهش قابلیت اطمینان و زمان بازیابی می تواند مبنا قرار گیرد. در بعد پیامد اقتصادی نیز متغیرهایی مانند اختلال در زنجیره تأمین، افزایش هزینه مبادله، کاهش تولید، افت سرمایه گذاری یا کاهش اشتغال قابل طرح است. با این حال، تعیین سنجه ها، مقیاس اندازه گیری، آستانه های شکست و وزن هر بعد، به مطالعات تجربی و موردی آینده وابسته است.

اهمیت چارچوب مفهومی EIFI در آن است که تحلیل زیرساخت را از ارزیابی صرفاً مهندسی یا صرفاً اقتصادی فراتر می برد و امکان بررسی هم زمان سه سطح دارایی، خدمت و پیامد اقتصادی را فراهم می سازد. در این چارچوب، PD در سطح دارایی، FD در سطح خدمت و EI در سطح پیامد قرار می گیرد. بنابراین، EIFI را می توان چارچوبی برای فهم شکست زیرساخت به مثابه یک فرآیند آبخاری دانست؛ فرآیندی که در آن اختلال در یک سطح به سطوح دیگر منتقل می شود و در صورت تداوم، به ناتوانی اقتصادی زیرساخت می انجامد.

در این پژوهش، EIFI نه به عنوان یک شاخص مهندسی، بلکه ابزاری تحلیلی - سیاستی است که می تواند مبنایی برای ارزیابی آسیب پذیری اقتصادی زیرساخت های شهری در برابر تهدیدات ترکیبی باشد. همچنین این چارچوب می تواند در آینده مبنای توسعه مدل های کمی، تحلیل سناریو، تعیین اوزان ابعاد و ارزیابی اثربخشی اقدامات پدافند غیرعامل قرار گیرد.

همان طور که در جدول ۴ جایگاه مفهومی چارچوب EIFI در تمایز میان آسیب پذیری، تاب آوری و شکست اقتصادی زیرساخت اشاره شده است، مفهوم پیشنهادی پژوهش نه جایگزین تاب آوری، بلکه مکمل انتقادی آن در تحلیل پیامدهای زیرساختی تهدیدات ترکیبی است.

جدول ۴. جایگاه مفهومی چارچوب EIFI در تمایز میان آسیب پذیری، تاب آوری و شکست اقتصادی زیرساخت

مفهوم	تمرکز	سوال اصلی
آسیب پذیری	احتمال آسیب	چه مقدار صدمه وارد می شود؟
تاب آوری	بازیابی	چگونه بر می گردد؟
شکست اقتصادی زیرساخت (EIFI)	از دست رفتن کارکرد اقتصادی	چه زمانی زیرساخت نقش اقتصادی خود را از دست می دهد؟

منبع: یافته های پژوهش

یافته های مفهومی پژوهش

یافته های این پژوهش بر پایه تحلیل اسنادی و ترکیب مفهومی ادبیات مرتبط با تهدیدات ترکیبی، تاب آوری و شکست زیرساخت، وابستگی متقابل سامانه های حیاتی و پیامدهای اقتصادی اختلال زیرساخت صورت بندی شده است. هدف پژوهش، تولید یک شاخص تجربی با آزمون های آماری نبوده، بلکه ارائه چارچوبی مفهومی برای تبیین منطق شکست اقتصادی زیرساخت در شرایط تهدیدات نوین بوده است.

فرآیند دستیابی به چارچوب مفهومی EIFI در چهار مرحله انجام شد: گردآوری هدفمند ادبیات، استخراج

مضامین کلیدی، طبقه‌بندی آن‌ها بر حسب جایگاه تحلیلی در فرآیند شکست، و در نهایت تلفیق آن‌ها در قالب یک صورت‌بندی مفهومی. نتیجه این فرآیند نشان داد که با وجود تفاوت در زبان و رویکرد منابع، اغلب تبیین‌ها حول سه سطح اصلی سامان می‌یابند: آسیب به دارایی فیزیکی، اختلال در عملکرد و تداوم خدمت، و پیامد اقتصادی. بر این اساس، EIFI با سه بعد آسیب فیزیکی (PD)، اختلال عملکردی (FD) و پیامد اقتصادی (EI) صورت‌بندی شد (هال و همکاران، ۲۰۱۶).

نخستین یافته پژوهش آن است که در بستر تهدیدات ترکیبی، شکست زیرساخت‌های شهری الزاماً با تخریب گسترده فیزیکی همراه نیست. در بسیاری از موارد، تهدید از طریق اختلال تدریجی در کارکردهای عملیاتی، مدیریتی، اطلاعاتی یا لجستیکی عمل می‌کند و بدون نابودی کامل اجزای زیرساخت، آن را از ایفای نقش اقتصادی مؤثر بازدارد. بنابراین، بقای کالبدی زیرساخت لزوماً به معنای تداوم کارکرد اقتصادی آن نیست (هالگات و همکاران، ۲۰۱۹ و اوینگ، ۲۰۱۴).

یافته دوم آن است که اختلال عملکردی، حلقه واسط و در عین حال تعیین‌کننده میان آسیب فیزیکی و پیامد اقتصادی است. زیرساخت ممکن است تنها دچار آسیب محدود یا حتی فاقد تخریب محسوس باشد، اما کاهش ظرفیت عملیاتی، وقفه در خدمت‌رسانی، افت قابلیت اطمینان، اختلال در هماهنگی نهادی یا نارسایی در دسترسی به نهادهای پشتیبان می‌تواند پیامدهایی فراتر از سطح آسیب مادی ایجاد کند. از این‌رو، اختلال عملکردی سازوکار اصلی انتقال شوک از سطح فنی به سطح اقتصادی است (هالگات و همکاران، ۲۰۱۹ و هال و همکاران، ۲۰۱۶).

یافته سوم آن است که چارچوب پیشنهادی با رویکردهای کلاسیک تاب‌آوری تفاوت دارد. در رویکردهای کلاسیک، تمرکز عمدتاً بر جذب شوک، بازیابی و بازگشت به وضعیت پایدار است. اما در چارچوب EIFI، نقطه قانونی تحلیل آستانه‌ای است که در آن زیرساخت، با وجود بقای نسبی فیزیکی و حتی تداوم محدود خدمت، دیگر قادر به ایفای نقش اقتصادی مؤثر نیست. به این معنا، EIFI جایگزین مفهوم تاب‌آوری نیست، بلکه مکمل آن در تحلیل موقعیت‌هایی است که تداوم ظاهری عملکرد با تداوم کارآمدی اقتصادی یکسان نیست (سیمارو و همکاران، ۲۰۲۲ و اوینگ، ۲۰۱۴).

یافته چهارم آن است که پیامد اقتصادی اختلال زیرساخت صرفاً نتیجه نهایی بحران نیست، بلکه بخشی از منطق شکست محسوب می‌شود. هنگامی که اختلال زیرساخت به کاهش تولید، اختلال در زنجیره تأمین، افزایش هزینه مبادله، افت سرمایه‌گذاری، کاهش اشتغال یا تضعیف اعتماد اقتصادی بینجامد، زیرساخت وارد وضعیتی می‌شود که می‌توان آن را شکست اقتصادی نامید. در این معنا، شکست زمانی رخ می‌دهد که زیرساخت دیگر نتواند نقش خود را در پشتیبانی از پویایی اقتصادی شهر ایفا کند؛ حتی اگر از نظر فنی هنوز به‌طور کامل از کار نیفتاده باشد (جیانوپولوس، ۲۰۱۲ و اوای‌سی‌دی، ۲۰۱۹).

بر این اساس، یکی از دلالت‌های اصلی پژوهش آن است که رویکردهای کلاسیک پدافند غیرعامل، اگر صرفاً بر مقاوم‌سازی سازه‌های^{۱۷} و کاهش تخریب فیزیکی متمرکز بمانند، برای مواجهه با تهدیدات ترکیبی کافی نخواهند بود. پایداری سازه‌های^{۱۸} شرط لازم است، اما برای حفظ اثربخشی زیرساخت در شرایط بحران شرط کافی نیست. در نتیجه، تحلیل و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شهری باید از سطح آسیب‌پذیری فیزیکی فراتر رود و نقش آن‌ها در حفظ جریان‌های اقتصادی، زنجیره‌های تأمین، کارکردهای لجستیکی و تداوم خدمات حیاتی را نیز دربرگیرد.

در مجموع، یافته‌های مفهومی پژوهش نشان می‌دهد که درک شکست زیرساخت در بستر تهدیدات ترکیبی، مستلزم تحلیل هم‌زمان سه سطح آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و پیامد اقتصادی است. چارچوب EIFI با یکپارچه‌سازی این سه سطح، امکان تبیین دقیق‌تر منطق شکست زیرساخت را فراهم می‌کند و می‌تواند مبنایی برای

¹⁷Structural retrofitting

¹⁸ Structural stability

توسعه مدل‌های تجربی، سناریونویسی بحران و بازطراحی سیاست‌های پدافند غیرعامل با تمرکز بر حفظ تداوم عملکرد اقتصادی باشد.

اولویت‌های پدافند غیرعامل از منظر اقتصادی - عملکردی

بر پایه چارچوب مفهومی پژوهش، اقدامات پدافند غیرعامل باید از تمرکز صرف بر کاهش تخریب به سمت حفظ تداوم عملکرد اقتصادی سوق یابند (کومار و اسریناث، ۲۰۲۱). این تغییر مستلزم آن است که زیرساخت‌ها نه تنها از منظر مهندسی، بلکه از حیث نقش آن‌ها در زنجیره‌های تأمین، جریان‌های لجستیکی، اشتغال و اعتماد سرمایه‌گذاری نیز ارزیابی شوند.

در این چارچوب، زیرساختی که از نظر سازه‌ای مقاوم است اما در شرایط بحران قادر به حفظ حداقل سطح عملکرد اقتصادی نیست، تاب‌آوری مؤثر نخواهد داشت (سیمالرو و همکاران، ۲۰۲۴). از این رو، زیرساخت‌هایی که سهم بیشتری در تشدید چارچوب مفهومی EIFI دارند، حتی در صورت آسیب فیزیکی محدود، باید در اولویت اقدامات پدافند غیرعامل قرار گیرند.

پیامدهای سیاستی برای برنامه‌ریزی شهری و سرمایه‌گذاری زیرساختی

چارچوب تحلیلی ارائه‌شده چند پیامد اصلی برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت سرمایه‌گذاری زیرساختی دارد. نخست، امکان اولویت‌بندی پروژه‌های پدافندی را نه صرفاً بر اساس آسیب‌پذیری فیزیکی، بلکه بر مبنای پیامدهای اقتصادی بالقوه اختلال زیرساخت‌ها فراهم می‌سازد. دوم، استفاده از چارچوب مفهومی EIFI می‌تواند به تصمیم‌گیران کمک کند تا از سرمایه‌گذاری‌های پرهزینه اما کم‌اثر اقتصادی پرهیز کرده و منابع محدود را به زیرساخت‌هایی اختصاص دهند که نقش کلیدی‌تری در حفظ پایداری اقتصادی شهر دارند. این موضوع به‌ویژه در شهرهای بندری، صنعتی و لجستیکی اهمیت مضاعف دارد (کامکارهفشجانی و همکاران، ۲۰۲۵).

کاربست مدل مفهومی در مدیریت بحران و سناریونویسی تهدیدات

یکی دیگر از کارکردهای مهم مدل پیشنهادی، قابلیت به‌کارگیری آن در تحلیل سناریوهای تهدید و مدیریت بحران است. زنجیره تحلیلی تهدید تا شکست اقتصادی این امکان را فراهم می‌سازد که اثرات بالقوه تهدیدات ترکیبی، حتی پیش از وقوع تخریب فیزیکی، ارزیابی شود (اواینگ، ۲۰۱۴). چنین رویکردی به مدیران شهری و نهادهای مسئول اجازه می‌دهد نقاط گلوگاهی عملکردی و اقتصادی را پیشاپیش شناسایی و اقدامات پیشگیرانه مؤثرتری طراحی کنند. در نتیجه، مدیریت بحران از حالت واکنشی خارج شده و به سمت مدیریت پیش‌نگرانه مبتنی بر تحلیل اقتصادی-عملکردی حرکت می‌کند.

از منظر نظری نیز، این پژوهش میان مهندسی عمران، مطالعات دفاعی و اقتصاد شهری پیوندی نظام‌مند برقرار می‌کند. مدل مفهومی ارائه‌شده نشان می‌دهد که تحلیل زیرساخت‌ها در شرایط تهدیدات ترکیبی، بدون توجه هم‌زمان به این سه حوزه، به درکی ناقص از واقعیت بحران منجر می‌شود.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش به دلیل ماهیت مفهومی فاقد آزمون تجربی برای چارچوب است. همچنین اوزان ابعاد EIFI تعیین نشده و اعتبارسنجی عملیاتی آن به پژوهش‌های آینده واگذار می‌شود.

نتایج تحقیق و پیشنهادها

یافته‌های پژوهش نشان داد که تحلیل شکست زیرساخت‌های شهری در بستر تهدیدات ترکیبی، نیازمند عبور از رویکردهای تک‌بعدی و صرفاً کالبدی است. در شرایطی که تهدیدات نوین بیش از تخریب مستقیم، بر اختلالات تدریجی، چندلایه و شبکه‌ای متکی‌اند، تبیین شکست زیرساخت نیز نمی‌تواند تنها بر میزان آسیب فیزیکی مبتنی

باشد. در بسیاری از موارد، آنچه موجب ناتوانی واقعی زیرساخت می‌شود، گسست در تداوم عملکرد، افت ظرفیت خدمت‌رسانی و ناتوانی در پشتیبانی از جریان‌های اقتصادی و شهری است.

بر همین مبنا، پژوهش حاضر با معرفی چارچوب مفهومی EIFI کوشید الگویی برای تحلیل این وضعیت ارائه دهد. این چارچوب بر سه بعد آسیب فیزیکی، اختلال عملکردی و پیامدهای اقتصادی استوار است و نشان می‌دهد که شکست زیرساخت حاصل برهم‌کنش این سه سطح در یک زنجیره علی و گاه آبشاری است. اهمیت این چارچوب در آن است که تحلیل زیرساخت را از تمرکز صرف بر حفاظت سازه‌ای فراتر می‌برد و تداوم کارکرد اقتصادی را نیز وارد معیارهای ارزیابی می‌کند. این پژوهش در پی ارزیابی فنی زیرساخت نیست، بلکه لایه اقتصادی-عملکردی را به تحلیل آن می‌افزاید.

نتایج همچنین نشان داد که در بستر تهدیدات ترکیبی، اختلال عملکردی نقش حلقه واسط تعیین‌کننده میان آسیب فیزیکی و پیامد اقتصادی دارد. از این‌رو، سیاست‌گذاری پدافند غیرعامل نباید تنها به کاهش احتمال تخریب مادی محدود شود، بلکه باید بر حفظ تداوم خدمت، کاهش زمان و دامنه اختلال، افزایش قابلیت جایگزینی و ارتقای ظرفیت بازایی عملیاتی نیز متمرکز باشد.

بر پایه این نتایج، پیشنهاد می‌شود ارزیابی زیرساخت‌های شهری با رویکردی چندبعدی و با لحاظ شاخص‌های فنی، عملکردی و اقتصادی انجام شود. همچنین، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های حفاظتی بر مبنای نقش هر زیرساخت در تداوم فعالیت‌های اقتصادی، زنجیره‌های تأمین، خدمات حیاتی و پایداری عملکرد شهری صورت گیرد. افزون بر این، پیشنهاد می‌شود چارچوب مفهومی EIFI در پژوهش‌های آینده به مدل‌های عملیاتی و کمی توسعه یابد؛ از جمله از طریق تعریف سنجه‌های قابل اندازه‌گیری، تعیین وزن نسبی متغیرها، طراحی سناریوهای تهدید و آزمون در نمونه‌های واقعی. توجه بیشتر به وابستگی متقابل زیرساخت‌ها و آثار آبشاری اختلالات نیز در طراحی راهبردهای ارتقای تاب‌آوری ضروری است. همچنین، در پژوهش‌های آتی می‌توان از چارچوب EIFI به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی و بازنگری ضوابط و دستورالعمل‌های مرتبط با پدافند غیرعامل و زیرساخت‌های شهری بهره گرفت تا خلأهای موجود در مواجهه با تهدیدات ترکیبی با دقت بیشتری شناسایی شود.

در نهایت، دلالت سیاسی این پژوهش آن است که در مواجهه با تهدیدات ترکیبی، معیار موفقیت در حفاظت از زیرساخت‌ها صرفاً جلوگیری از تخریب فیزیکی نیست، بلکه حفظ توان زیرساخت برای تداوم ایفای نقش اقتصادی و خدماتی آن نیز اهمیت دارد. از این‌رو، بازنگری در سیاست‌های پدافند غیرعامل و مدیریت ریسک زیرساخت‌های شهری باید با محوریت کاهش شکست اقتصادی، حفظ کارکرد و تقویت تاب‌آوری عملیاتی انجام شود.

با توجه به ماهیت مفهومی پژوهش، چارچوب EIFI در این مقاله به‌صورت کمی آزمون نشده و کارکرد آن در این مرحله، ساختاربندی تحلیلی منطق شکست اقتصادی زیرساخت است. از این‌رو، توسعه عملیاتی این چارچوب از طریق تعریف سنجه‌های قابل اندازه‌گیری، تعیین وزن ابعاد، آزمون در مطالعات موردی و ارزیابی در بسترهای واقعی، به‌عنوان مسیر اصلی پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

1. Bartoszewicz, G.(2025). Hybrid everything, operational nothing: Conceptual drift, perpetual crisis, and the failure to prepare for proxy terrorism. *European Journal for Security Research* [https://doi.org/10.1007/s41125-025-00107-2]
2. 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., Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. In *Proceedings of the 13 World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 733-752), Vancouver, B.S, Canada. [https://doi.org/10.1193/1.1623497]
3. Bolhassani, K., Bigbilandi, A.A., Dadvand, A., Bokaei, H., & Abdinzadeh, H. (2024). [Passive offense in combined warfare(Persian)]. *Journal Scientific Research of Strategic Defense Studies*, 22(96), 47-72. [https://doi.org/20.1001.1.2.20084897.1403.22.96.3.1]
4. Cimellaro, G., De Iuliis, M., Cardoni, A. (2024). Resilience and safety of civil engineering systems and communities: A bibliometric analysis for mapping the state-of-the-art. *Safety Science*, 174, [https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106470]
5. European Commission. (2020). Critical infrastructure resilience: EU policy framework and strategic directions. Brussels: European Commission. [https://www.astrid-online.it/static/upload/ec1d/ec1d8d095fa19125f2318b51ca159dc7.pdf]
6. Giannopoulos, G., Filippini, R., & Schimmer, M. (2012). *Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection*. Publications Office of the European Union. [https://doi.org/10.2788/22260]
7. Hallegatte, S., Rentschler, J., & Rozenberg, J. (2019). *Lifelines: The resilient infrastructure opportunity*. World Bank. [https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/c3a753a6-2310-501b-a37e-5dcab3e96a0b]
8. Hall, J. W., Pant, R., & Blainey, S. P. (2016). Vulnerability assessment of interdependent critical infrastructure systems. *Infrastructures*, 1(2), 1-15. [https://opsis.eci.ox.ac.uk/publication/pant-1/]
9. Hoffman, F. G. (2007). *Conflict in the 21st century: The rise of hybrid wars*. Potomac Institute for Policy Studies. [https://www.potomacinstitute.org/images/stories/publications/potomac_hybridwar_0108.pdf]
10. Kamkar Hafshejani, K., Daei Karimzadeh, S., & Sharifi Renani, H. (2025). [Analysis and Evaluation of factors affecting Economic resilience with an emphasis on the Environmental governance Index (Persian)]. *Journal of Economic Research and Policies*, 33(113), 204-243. [https://qjerp.ir/browse.php?a_code=A-10-90-3&sid=1&slc_lang=en]
11. Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Vousdoukas, M., Fraser, S. A., Hallegatte, S. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature Communications*, 10,2677. [https://doi.org/10.1038/s41467-019-10442-3]
12. Kumar, A. Sreenath, N. (2021). Cyber-physical systems: Analyses, challenges, and possible solutions. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 1, 22-33. [https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.12.002]
13. Mansouri, S.A., & Afghah, S.M. (2017). [Investigating Iran's economic and social resilience with a passive defense approach(Persian)]. *Journal of Defense Economics and Sustainable Development*, 2(6), 73-98. [https://eghtesad.sndu.ac.ir/article_511.html]
14. MCDC (2019). *Understanding hybrid warfare*. Multinational Capability Development Campaign. [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a8228a540f0b62305b92caa/dar_mcdc_hybrid_warfare.pdf]
15. Meerow, S., & Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. [https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011]
16. NATO. (2017). *Countering hybrid threats: EU-NATO cooperation*. European Parliamentary Research Service [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(۲۰۱۷)۰۹۹۳۱۵]
17. NATO. (2021). *NATO 2030: Strengthening the alliance in a competitive world*. North Atlantic Treaty Organization. [https://www.nato.int/en/news-and-events/articles/news/2021/06/14/leaders-agree-nato-2030-agenda-to-strengthen-the-alliance]
18. Nazarinejad, A.A., & Pourshasb, A.A. (2021). [Adopt passive defense strategies to protect the critical infrastructure of the Islamic Republic of Iran(Persian)]. *Journal Scientific Research of Strategic Defence Studies*, 18(82), 313-336.

- [https://doi.org/20.1001.1.20084897.1399.18.82.13.5]
19. Novotny, P., & Janosikova, M. (2020). Designating A regional elements system in a critical infrastructure system in the context of the Czech Republic. *Systems*, 8(2), 13. [https://doi.org/10.3390/systems8020013]
 20. OECD (2019). [Good governance for critical infrastructure resilience]. OECD Publishing. [https://doi.org/10.1787/02f0e5a0-en]
 21. Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 43-60. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013002056]
 22. Pant, R., Hall, J. W., & Blainey, S. P. (2018). Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure. *Journal of Flood Risk Management*, 11(S1), S194-S208. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfr3.12288]
 23. Pestana, G., Sofou, S. (2024). Data governance to counter hybrid threats against critical infrastructures. *Smart Cities*, 7, 1857–1877. [https://doi.org/10.3390/smartcities7040072]
 24. Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., & Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 21(6), 11–25. [https://ieeexplore.ieee.org/document/969131]
 25. Rose, A. (2004). Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In Y. Okuyama & S. E. Chang (Eds.), *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*, (pp. 13-36). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24787-6_2]
 26. Savolainen, J. (2019). Hybrid threats and vulnerabilities of modern critical infrastructure: Weapons of mass disturbance (WMDi)? In M. Lakomy, K. Zubrzycki, & J. Olchowski (Eds.), *Countering Hybrid Threats*. [https://www.hybridcoe.fi/wp-content/uploads/2020/07/NEW_Working-paper_WMDivers_2019_rgb.pdf]
 27. Sharifi, A. (2020). Urban resilience assessment: Mapping knowledge structure and trends. *Sustainability*, 12(15), 5918. [https://doi.org/10.3390/su12155918]
 28. Szczurek, T., & Walkowiak, M. (2025). Critical infrastructure security in the face of contemporary threats. *European Research Studies Journal*, 35-43. [https://ersj.eu/journal/3888]
 29. Willner, S. N., Otto, C., & Levermann, A. (2018). Global economic response to river floods. *Nature Climate Change*. [https://www.nature.com/articles/s41558-018-0173-2]