

# Structural Analysis of Iran's Macro-Trends in the Management of Critical Infrastructures

Saeid Madadi<sup>\*1</sup>, Hosain Nazery<sup>2</sup>, Zakaria Kazempour<sup>3</sup>

1. M.Sc. in Geographic Information System (GIS), Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding Author) [s.madadi11@ut.ac.ir](mailto:s.madadi11@ut.ac.ir)
2. Assist. Prof., Civil Engineer, Ministry of Science, Research and Technology (MSRT), Tehran, Iran.
3. Assist. Prof., Futurology, Social Capital Research Institute, Commandery University and AJA Headquarters, Tehran, Iran.



<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>

Original Paper

As the beating heart of society, critical infrastructures form the basis of people's lives, and their optimal management guarantees the stability and resilience of basic services in the governance of countries. Macrotrends have a special place among the factors influencing the performance of critical infrastructures. This research was carried out with the aim of identifying the effective macro trends in the management of the country's critical infrastructures. It was carried out with the mixed methodology of future research. In this regard, by conducting documentary studies and using experts, 22 variables were identified as effective Macrotrends in the management of the country's critical infrastructures and then analyzed with the logic of the cross-impact matrix. The findings of cross-impact matrix analysis show that six variables, including the variable "wear and tear of critical infrastructure" are in the category of the most effective and the most effective. These variables are called stimulating and reinforcing variables that lead to system instability and should be prioritized in planning. The numbers of nine variables, including the variable "structuring and editing the landscape" were classified as the most effective and the least effective. These variables are part of the environmental and determining variables and can play a pivotal role in improving the system. Four variables were placed in the category of influence and effectiveness almost equally and have lower priority than other identified factors. Finally, the numbers of three variables were included in the category of variables that have more effectiveness than influence and their effectiveness depend on other factors. Examining the general distribution pattern of the variables shows that the general condition of critical infrastructure tends to be neglected and there is a need to pay more attention to this issue and put more effective and preventive measures on the agenda of the relevant trustees.

**Keywords:**  
Critical Infrastructure,  
Structural Analysis,  
Macro-Trends, Cross  
Impact Analysis.



Received: Nov. 4, 2024  
Revised: Feb. 22, 2025  
Accepted: Mar. 13, 2025

#### To cite this article:

Madadi, S., Nazery, H., Kazempour, Z., 2025. Structural Analysis of Iran's Macro-Trends in the Management of Critical Infrastructures *Emergency Management*, 14(2), 113-140. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>.

Use your device to scan and read the article online



© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



# تحلیل ساختاری کلان روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران

سعید مددی<sup>۱\*</sup>، حسین ناظری<sup>۲</sup>، ذکریا کاظم پور<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی‌ارشد سیستم اطلاعاتی مکانی (GIS)، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) [s.madadi11@ut.ac.ir](mailto:s.madadi11@ut.ac.ir)

۲- استادیار، مهندسی عمران، عضو هیئت‌علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

۳- استادیار، آینده‌پژوهی، پژوهشکده سرمایه اجتماعی، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران



<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>

مقاله پژوهشی

## چکیده

واژه‌های کلیدی:  
زیرساخت‌های حیاتی،  
تحلیل ساختاری، کلان‌روند،  
تحلیل اثرات متقابل

زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان قلب تپنده جامعه، پایه‌های اساسی زندگی مردم را شکل می‌دهند و مدیریت بهینه آنها پایداری و تاب‌آوری خدمات اساسی را در حکمرانی کشورها تضمین می‌کند. در بین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد زیرساخت‌های حیاتی، کلان‌روندها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. کلان‌روندها، گرایش‌هایی در مقیاس بزرگ و دگرگون‌کننده هستند که پتانسیل ایجاد تغییرات بنیادین در سیستم را دارا می‌باشند. این پژوهش با هدف شناسایی کلان‌روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور و بررسی میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنها بر یکدیگر شکل گرفته است. پژوهش حاضر در چارچوب اهداف ترسیمی، با روش-شناسی مرکب آینده‌پژوهی انجام شده است. در این راستا با انجام مطالعات اسنادی و پندل خبرگی، تعداد ۲۲ متغیر از به‌عنوان کلان‌روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور شناسایی و سپس با منطق تحلیل ساختاری، مورد تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های تحلیل ماتریس اثرات متقاطع نشان می‌دهد که شش متغیر از جمله متغیر «فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی» در دسته-بندی بیشترین اثرگذاری و بیشترین اثرپذیری قرار دارند. این متغیرها، متغیرهای تقویت‌کننده نامیده می‌شوند که منجر به ناپایداری سیستم می‌شوند و می‌بایست در اولویت برنامه‌ریزی قرار گیرند. تعداد نه متغیر از جمله متغیر «ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز» در دسته‌بندی بیشترین اثرگذاری و کمترین اثرپذیری قرار گرفتند. این متغیرها، جزء متغیرهای محیطی و تعیین-کننده محسوب می‌شوند و می‌توانند در بهبود وضعیت سیستم، نقش محوری ایفا نمایند. چهار متغیر نیز در دسته بندی اثرگذاری و اثرپذیری تقریباً برابر قرار گرفتند و دارای اولویت کمتری نسبت به سایر عوامل شناسایی شده می‌باشند. در نهایت تعداد سه متغیر در دسته متغیرهایی قرار گرفتند که دارای اثرپذیری بیشتری نسبت به اثرگذاری می‌باشند و میزان اثرپذیری آنها به سایر عوامل وابسته است. بررسی الگوی پراکنش کلی متغیرها نیز نشان می‌دهد که وضعیت کلی زیرساخت‌های حیاتی به سمت ناپایداری میل می‌کند و نیاز است که توجهات بیشتری به این موضوع معطوف و اقدامات پیشگیرانه‌ای در دستور کار متولیان ذی‌ربط قرار گیرد.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۴

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

مددی، س.، ناظری، ح.، کاظم پور، ز.، ۱۴۰۴، تحلیل ساختاری کلان روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی

ج.ا.ایران. مدیریت بحران، ۱۴(۲)، ۱۴۰-۱۱۳

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>



© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

زیرساخت‌های حیاتی (CI)<sup>۱</sup>، اساس و پایه هر گونه خدمات و تداوم جریان زندگی در یک کشور را شکل می‌دهند. به عبارت دیگر زیرساخت‌های حیاتی را می‌توان ستون فقرات یک جامعه نامید. زیرساخت‌های حیاتی از ابعاد مختلف امنیتی، اقتصادی، اجتماعی، خدماتی، سیاسی و غیره برای یک جامعه مهم هستند [۱].

امروزه بیشتر عملکردهای جامعه وابستگی شدیدی به عاملیت زیرساخت‌های حیاتی دارد و هر گونه اختلال در کارکرد یکی از زیرساخت‌ها می‌تواند منجر به ایجاد پیامدهای مخرب در سایر زیرساخت‌های وابسته و به تبع آن در کل جامعه شود [۲].

زیرساخت‌های حیاتی از قبیل شبکه‌های انرژی، حمل‌ونقل، ارتباطات و منابع آب، از مهم‌ترین ارکان توسعه و امنیت ملی هر کشور محسوب می‌شوند. زیرساخت‌های حیاتی، ارائه‌دهنده خدمات اساسی و بنیادی هستند و از این رو وجود یک چارچوب اصولی برای پشتیبانی از آنها ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. به همین دلیل است که حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و دارائی‌های کلیدی از مهم‌ترین وظایف و مأموریت‌های هر دولتی محسوب می‌شود [۳].

در ج.ا.ایران، با توجه به شرایط خاص ژئوپلیتیکی، سیاسی و اقتصادی کشور، زیرساخت‌های حیاتی از اهمیت مضاعفی برخوردار هستند و در معرض تغییرات سریع و روندهای پیچیده و فزاینده‌ای قرار دارند که عملکرد و پایداری آنها را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. به همین دلیل، بررسی و مدیریت عوامل عمده مؤثر بر عملکرد زیرساخت‌های حیاتی، یکی از اولویت‌های کلیدی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری عمومی کشور محسوب می‌شود.

تحولات جهانی نیز از جمله تغییرات اقلیمی، تحریم‌های اقتصادی، رشد جمعیت و نوآوری‌های تکنولوژیک، تنها بخشی از روندهای کلانی هستند که آینده این زیرساخت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در چنین شرایطی، شناخت و تحلیل این روندها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که بدون درک جامع از آنها، امکان برنامه‌ریزی راهبردی و مدیریت مؤثر این زیرساخت‌ها میسر نخواهد بود. لذا این پژوهش با شناسایی کلان‌روندهای مذکور و تحلیل میزان و نحوه اثرگذاری و اثرپذیری آنها بر یکدیگر، تلاش می‌کند تا چارچوبی علمی برای درک بهتر این پویایی‌ها ارائه دهد.

تحلیل کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران از ابعاد مختلفی از جمله حفظ امنیت و پایداری ملی، مقابله با چالش‌های آینده، توسعه پایدار و افزایش رقابت‌پذیری بین‌المللی دارای اهمیت ویژه است و می‌تواند بسترساز پاسخ به تغییرات سریع و پیچیدگی‌های محیطی و مدیریت بحران‌های پیش‌رو باشد. در این راستا، عدم تحلیل جامع و دقیق این روندها و نداشتن رویکردی راهبردی برای مدیریت آن‌ها، می‌تواند به ناکارآمدی در تصمیم‌گیری‌های کلان منجر شده و توانایی کشور را در مواجهه با بحران‌ها و ناترازی‌های پیش‌روی کاهش دهد.

با توجه به اهمیت و ضرورت پیش‌گفته، پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران را بررسی نموده، برهم‌کنش آنها بر یکدیگر را تحلیل و در نهایت انواع متغیرهای موجود در سیستم مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور را به‌منظور درک هر بهتر پویایی‌های موجود دسته‌بندی نماید؛ بنابراین مسئله اصلی این پژوهش، ضرورت شناسایی و تحلیل روابط بین کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در ج.ا.ایران

<sup>1</sup> Critical Infrastructure

به‌منظور تقویت تاب‌آوری و عملکرد این زیرساخت‌ها در برابر چالش‌ها و فرصت‌های آینده است. بررسی این موضوع به تصمیم‌گیران کمک خواهد کرد تا با تدوین سیاست‌های مناسب، نه تنها از وقوع بحران‌های احتمالی جلوگیری کنند، بلکه به بهبود کارکرد و پایداری زیرساخت‌ها در بلندمدت نیز کمک کنند.

لذا این مقاله با هدف شناسایی کلان‌روندهای مؤثر بر عملکرد زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران و تحلیل نحوه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آنها بر یکدیگر تدوین شده است و تلاش دارد که بتواند تصویری کلی از مجموع عوامل کلانی که عملکرد زیرساخت‌های حیاتی را در بلندمدت تحت تأثیر قرار می‌دهند را شناسایی و روابط بین آنها را تجزیه و تحلیل نماید. به امید آنکه پژوهش حاضر بتواند گامی بسیار کوچک در راستای توسعه ادبیات پژوهشی این حوزه و برنامه‌ریزی راهبردی در زمینه مدیریت بهینه زیرساخت‌های حیاتی کشور برداشته باشد.

## ۲- چارچوب نظری و پیشینه تحقیق

### ۲-۱- زیرساخت‌های حیاتی

تعریف زیرساخت‌های حیاتی در کشورهای مختلف با شرایط و اولویت‌ها و سطح نیازهای آنها ارتباط تنگاتنگ دارد و کشورهای مختلف با توجه به ضروریات و اولویت‌های خود، تعاریف متفاوتی از زیرساخت‌های حیاتی ارائه می‌کنند. کشورهای آمریکا، ایتالیا و آلمان جزء پیشروترین کشورها در زمینه مطالعات مربوط به زیرساخت‌های حیاتی قرار دارند [۴].

مطابق تعریف هیئت حفاظت از زیرساخت‌های آمریکا، زیرساخت، کالبدی از شبکه‌ها و سیستم‌های وابسته، شامل صنایع قابل‌شناسایی، مؤسسات (شامل مردم و روندها) و قابلیت‌های توزیع است که جریان قابل‌اتکایی از محصولات و خدمات ضروری را برای برقراری امنیت دفاعی و

اقتصادی ایالات‌متحده آمریکا و فعالیت دولت در تمام سطوح فراهم می‌کنند. در این تعریف بر حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و افزایش تاب‌آوری آنها تأکید شده است. تاب‌آوری رویکردی راهبردی در عرصه دفاع غیرعامل است که حفظ شرایط پایدار برای سیستم‌ها و ساختارهای عملکرد مبنای هدف اصلی آن محسوب می‌شود [۵].

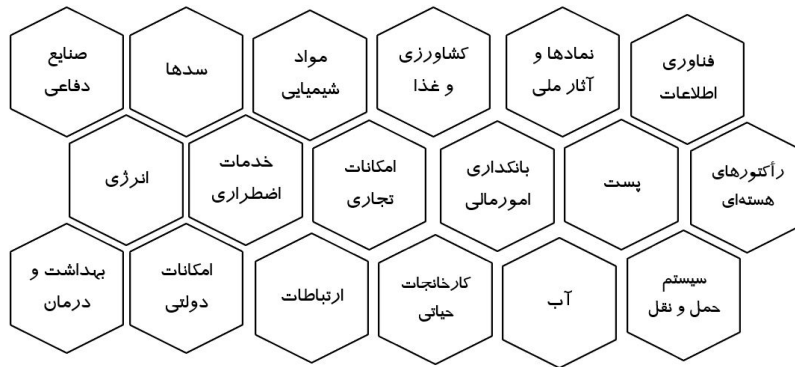
از نظر برین<sup>۱</sup>، زیرساخت‌های حیاتی به شبکه‌ها، سیستم‌ها و دارایی‌هایی اطلاق می‌شود که عملکرد صحیح و مداوم آنها برای عملکرد اساسی جامعه، اقتصاد و امنیت ملی ضروری است [۶].

از منظر سازمان پدافند غیرعامل، به مجموعه‌ای از مراکز و بخش‌های فعال اعم از تجهیزات، امکانات و خدمات از قبیل «برق»، «مخابرات و ارتباطات راه دور»، «مواد و انرژی هسته‌ای»، «سیستم اطلاعات دولتی و خصوصی»، «حمل و نقل اعم از راه آهن، بزرگراه، بندرها و راه‌های آبی، فرودگاه‌ها»، «شبکه‌های بهداشت، درمان و سلامت انسان، دام و محیط‌زیست»، «سامانه‌های کشاورزی» و موارد مشابه، زیرساخت گفته می‌شود که به صورت ویژه، حیاتی، حساس، مهم و قابل حفاظت دسته‌بندی می‌شوند [۷].

در سند راهبردی پدافند غیرعامل ج.ا.ایران، مراکز حیاتی، مراکزی هستند که انهدام کل یا قسمتی از آنها، موجب بروز بحران، آسیب و صدمات جدی و مخاطره‌آمیز در نظام سیاسی، هدایت، کنترل و فرماندهی، تولیدی و اقتصادی، پشتیبانی، ارتباطی و مواصلاتی، اجتماعی، دفاعی در سطح تأثیرگذاری ملی شود [۸].

زیرساخت‌های حیاتی از ابعاد مختلفی برای هر کشوری دارای اهمیت است که از جمله آنها می‌توان به نقش آن در تأمین امنیت ملی، پایداری اجتماعی و سیاسی، رشد اقتصادی و

<sup>1</sup> Brian



شکل ۱- زیرساخت‌های ۱۸ گانه آمریکا (ناظری، ۱۴۰۰)

آینده‌های باورپذیر که به‌عنوان بخشی از آینده‌های ممکن در نظر گرفته می‌شوند، به آینده‌هایی اشاره دارند که می‌توانند بر اساس دانش موجود در آینده اتفاق بیفتند. - آینده‌های مطلوب: به آینده‌های هنجاری اطلاق می‌شود که بر اساس ارزش‌های فردی و جمعی، مطلوب هستند.

توسعه، سلامت عمومی و رفاه اجتماعی و تأمین خدمات اساسی اشاره نمود. مؤسسه استاندارد و فناوری آمریکا در سال ۲۰۱۳ اقدام به شناسایی و معرفی اجزای زیرساخت‌های حیاتی آمریکا نمود. مطابق این گزارش زیرساخت‌ها و منابع کلیدی کشور ایالات متحده آمریکا به ۱۸ بخش طبق شکل (۱) تقسیم می‌شوند.

## ۲-۳- کلان‌روند<sup>۲</sup>

آینده نتیجه کنش چهار عامل مهم است، عواملی که با تأثیر و تأثرات مختلف بر روی یکدیگر، آینده را می‌سازند، این چهار عامل عبارت‌اند از: تصاویر، اقدامات، روندها و رویدادها. بی‌شک، روندها و رویدادها شناخته شده‌ترین واژه‌های آینده‌پژوهی هستند که بر دویژگی آینده متمرکز هستند. روندها، به پیوستگی تاریخی و زمانی اشاره دارند و رویدادها بر گسستگی‌های تاریخی تأکید می‌ورزند [۱۱].

منظور از روند عبارت است از «تغییرات منظم در داده‌ها یا پدیده‌ها در خلال زمان» [۱۲]. کلان‌روند یک روند عمده در مقیاس جهانی است. کلان‌روندها نیروهای بزرگ توسعه‌های اجتماعی هستند که به احتمال خیلی زیاد آینده را در همه جهات تحت‌الشعاع قرار داده و منجر به تغییر آن می‌شوند [۱۳]. کلان‌روندها به تغییرات و

## ۲-۲- آینده‌پژوهی<sup>۱</sup>

آینده‌پژوهی، پژوهشی است با هدف مدیریت و سیاست‌گذاری سیستم‌های اجتماعی به منظور تحقق مطلوب‌ترین آینده ممکن [۹]. آینده‌پژوهی یک حوزه تحقیقاتی است که به مطالعه و تحلیل روندها، الگوها و نیروهای مؤثر بر آینده می‌پردازد و هدف اصلی آن شناخت بهتر آینده است. آینده‌پژوهی تلاش می‌کند تا به فهم عمیق‌تری از پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های آینده دست یابد. به‌طور کلی آینده‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌کنند [۱۰].

- آینده محتمل: به آینده‌هایی اطلاق می‌شود که احتمال وقوع آن‌ها با برون‌یابی روندهای فعلی وجود دارد. - آینده‌های ممکن: به گسترده‌ترین طیف از آینده‌ها اطلاق می‌شود که بر اساس دانش موجود و تصورات عمومی ممکن است، رخ دهند.

<sup>2</sup> Megatrend

<sup>1</sup> Futures Studies

روندهای عمده و گسترده‌ای اطلاق می‌شود که تأثیرات بلندمدت و قابل‌توجهی بر روی جوامع دارند [۱۴].

به‌طور کلی ویژگی‌های کلان‌روندها شامل بلندمدت بودن، تأثیرات گسترده، پیچیدگی و چندبعدی بودن و قابلیت پیش‌بینی داشتن می‌شود. منظور از کلان‌روندها در این پژوهش به عوامل عمده‌ای اطلاق شده است که می‌توانند عملکرد زیرساخت‌های حیاتی را درازمدت و در بازه زمانی بین ۵ سال به بالا شکل گرفته تحت‌الشعاع قرار دهند که می‌توانند ماهیت تهدیدمحوری یا فرصت‌محوری و یا در سطح ملی یا بین‌المللی ایجاد نمایند.

#### ۲-۴- پیشینه تحقیق

از مهم‌ترین پژوهش‌های مرتبط با موضوع این تحقیق در مطالعات داخلی را می‌توان به مطالعه سالنامه امنیتی ملی اشاره نمود. سالنامه مذکور به همت پژوهشکده مطالعات راهبردی انجام می‌شود که به‌طور سالانه به بررسی مهم‌ترین رویدادهای مرتبط با امنیت ملی پرداخته و به پیش‌بینی مهم‌ترین رویدادهای سال بعد در قالب سناریوهای مختلف می‌پردازد.

در این بخش زیرساخت‌های حیاتی سالنامه امنیتی، به بررسی وضعیت زیرساخت‌های کشور و تهدیدها و فرصت‌های پیش‌روی چند نمونه از زیرساخت‌های مهم کشور پرداخته می‌شود.

در سالنامه امنیتی سال ۱۴۰۲ در بخش مذکور به بررسی شش زیرساخت پولی و بانکی، حمل‌ونقل، آب و فاضلاب، ارتباطات و فناوری، اطلاعات، نفت و گاز و برق پرداخته‌شده و به چهار تهدید از جمله ناترازی در عرضه و تقاضا، فقدان نقشه راه راهبردی و چشم‌انداز توسعه زیرساخت‌های کشور، فرسودگی و خرابکاری و حملات سایبری اشاره‌شده است و در پایان پیش‌بینی وضعیت زیرساخت‌های شش‌گانه مذکور

در سال ۱۴۰۳ و همچنین چند توصیه راهبردی را ارائه نموده است. سایر مطالعات مهم و مرتبط داخلی در جدول (۱) آورده شده است.

در حوزه مطالعات بین‌الملل می‌توان به پژوهش‌هایی که اشاره نموده که تأثیر کلان‌روندهای بین‌المللی بر حوزه‌های مختلف زیرساخت‌های حیاتی را ارزیابی نمودند که در چند مورد نیز به موضوع زیرساخت‌های حیاتی پرداختند. مرکز زیرساخت‌های جهانی<sup>۱</sup> در سال ۲۰۲۰ در گزارشی تحت عنوان «آینده زیرساخت‌ها» به بررسی تعداد کلان‌ها بر صنعت زیرساخت‌ها پرداخت [۱۸].

در این پژوهش تعداد ۲۵ کلان‌روند در ۵ دسته‌بندی کلی شامل جامعه و نیروی کار، بازار و مشتری، ژئوپلیتیک و مقررات، تکنولوژی، پایداری و تاب‌آوری شناسایی شده و میزان اثرگذاری آنها بر صنعت زیرساخت‌های جهانی بر اساس سه شاخص میزان قطعیت رخداد، میزان آمادگی زیرساخت برای مقابله با کلان‌روند و میزان تأثیر بالقوه کلان‌روند بر عملکرد زیرساخت ارزیابی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سایر مطالعات مهم و مرتبط داخلی در جدول (۲) آورده شده است.

تمایز اصلی این پژوهش در مقایسه با مطالعات پیشین، در اتخاذ یک رویکرد نظام‌مند و جامع به موضوع موردبررسی است. این مطالعه با تمرکز بر مسائل و چالش‌های داخلی کشور در حوزه زیرساخت‌های حیاتی، به تحلیل ساختاری روابط متقابل بین کلان‌روندها پرداخته و سازوکارهای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل آنها را به‌صورت دقیق و علمی موردبررسی قرار می‌دهد. این رویکرد تحلیلی، امکان درک عمیق‌تر از پویایی‌های پیچیده و تعاملات میان عوامل کلان مؤثر بر زیرساخت‌های حیاتی را فراهم می‌سازد. رویکرد جامع این پژوهش، تمامی ابعاد مدیریت

<sup>1</sup> Global Infrastructure Hub

جدول ۱- مطالعات داخلی مرتبط با تأثیر هوش مصنوعی بر امنیت ملی

ردیف	عنوان پژوهش	پژوهشگر	سال پژوهش	نتایج
۱	سالنامه امنیتی [۱۵]	مرکز مطالعات راهبردی	۱۴۰۲	به بررسی کلی شش زیرساخت؛ پولی و بانکی، حمل و نقل، آب و فاضلاب، ارتباطات و فناوری، اطلاعات، نفت و گاز و برق پرداخته شده و به چهار تهدید عمده شامل ناترازی در عرضه و تقاضا، فقدان نقشه راه راهبردی و چشم‌انداز توسعه زیرساخت‌های کشور، فرسودگی و خرابکاری و حملات سایبری اشاره شده است.
۲	ارزیابی نقش مضامین زیرساخت‌های حیاتی صنعت در تقویت قابلیت‌های راهبردهای توسعه پایدار صنعت نفت و گاز [۱۶]	سمالی و همکاران	۱۴۰۱	در این پژوهش تعداد ۵ مضمون و ۳ مؤلفه به‌عنوان، عوامل عمده توسعه زیرساخت‌های حیاتی حوزه نفت و گاز شناسایی شده و پس از ارزیابی عوامل عمده شناسایی شده، عامل فنی با رویکرد توسعه اقتصادی به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل برای تقویت قابلیت‌های راهبردی توسعه پایدار صنعت مذکور معرفی شده است.
۳	ارزیابی تهدیدات علیه دارایی‌های کلیدی حوزه انرژی با رویکرد پدافند غیرعامل [۱۷]	عطایی و همکاران	۱۴۰۲	در این پژوهش تعداد هفت تهدید علیه زیرساخت انرژی منطقه مورد مطالعه شناسایی و سپس با استفاده تحلیل آماری اقدام به رتبه‌بندی تهدیدات نموده است که تهدید هوایی - موشکی مهم‌ترین تهدید و تهدید سایبری با ارجح‌ترین تهدید این حوزه شناسایی شده است.



می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و جامع‌تر در سطح ملی مورد استفاده قرار گیرد.

### ۳- روش تحقیق و ابزارها

آینده پژوهی دارای روش‌های مختلفی است که عموماً مطالعات آن با ترکیب روش‌ها صورت می‌گیرد. این تحقیق با ترکیب روش‌های مرور منابع، پانل خبرگی، تحلیل پستل<sup>۱</sup> و تحلیل ماتریس متقاطع<sup>۲</sup> انجام شده است. در این پژوهش

زیرساخت‌های حیاتی، شامل عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فناورانه و قانونی را در نظر می‌گیرد.

این مطالعه با تمرکز بر شرایط خاص ج.ا.ایران، به تحلیل کلان‌روندهای مؤثر بر زیرساخت‌های حیاتی و تعاملات متقابل آنها پرداخته است. این رویکرد چندبعدی، درک بهتری از پیچیدگی‌های این حوزه ارائه می‌دهد و می‌تواند به طراحی راهبردهای یکپارچه و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک کمک کند. این تحلیل چند سطحی، درک بهتری از تأثیرات هم‌زمان و پیچیده کلان‌روندها بر زیرساخت‌های حیاتی کشور ارائه

<sup>1</sup> PESTEL: Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal

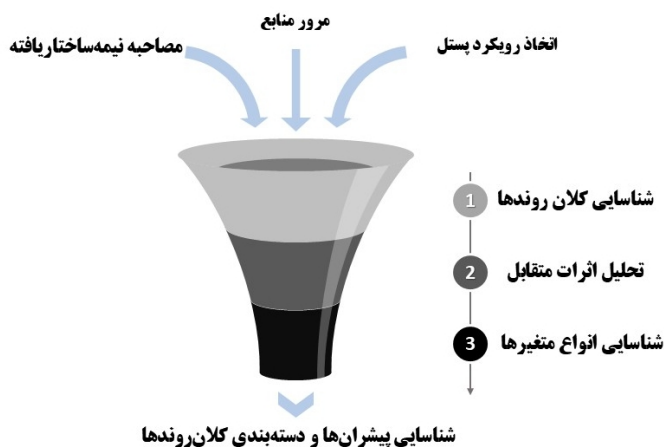
<sup>2</sup> Cross Impact Analysis (CIA)

جدول ۲- مطالعات خارجی مرتبط با تأثیر هوش مصنوعی بر امنیت ملی

ردیف	عنوان پژوهش	پژوهشگر	سال پژوهش	نتایج
۱	Institutional Investing in Infrastructure: Three Global Megatrends: An Examination of What's Driving Sustainable Infrastructure [19]	Michael Harrington	۲۰۲۴	در این پژوهش سه ابر روند صنعتی که صنعت زیرساخت‌های حیاتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند معرفی و بررسی شده‌اند که شامل کربن‌زدایی، دیجیتالی شدن اقتصاد و مسائل مرتبط با آن و جهانی‌زدایی و تخصیص مجدد زنجیره تأمین است.
۲	THE WORLD IN 2023: Ten issues that will shape the international agenda [20]	CIDOB	۲۰۲۲	این پژوهش ده روند کلان و مؤثر در آینده نظام بین‌الملل از جمله تورم، امنیت غذایی، بحران انرژی، افزایش فشار بر زنجیره‌های عرضه جهانی و رقابت ژئوپلیتیکی، از بین رفتن امنیت بین‌المللی و سیستم‌های حاکمیتی و ظرفیت جمعی برای پاسخگویی به همه آن مورد بررسی قرار گرفته است.
۳	Infrastructure Future [18]	Frendo	۲۰۲۰	در این تحقیق تعداد ۲۵ کلان‌روند در ۵ دسته‌بندی کلی شناسایی شده و میزان اثرگذاری آنها بر صنعت زیرساخت‌های جهانی بر اساس سه شاخص میزان قطعیت رخداد، میزان آمادگی زیرساخت و تأثیر بالقوه کلان‌روند بر عملکرد زیرساخت ارزیابی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.
۴	Addressing global environmental megatrends by decoupling the causal chain through floating infrastructure [21]	Steve Kappenthuler & Stefan Seeger	۲۰۱۹	در این پژوهش کلان‌روندهای زیست‌محیطی مربوط به زنجیره تأمین مواد غذایی از جمله افزایش تقاضا برای غذا، آب، مواد و فضا و همچنین گرم شدن کره زمین و افزایش سطح دریاها و راهکار مقابله با آنها مورد بررسی قرار گرفته است

مطابق شکل (۲) این پژوهش در سه مرحله کلی انجام شده است. در گام نخست با رویکرد تحلیل پستل و با استفاده از مرور منابع، پنل خبرگی و مصاحبه نیمه ساختاریافته، اقدام به شناسایی کلان‌روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی شد. در مرحله دوم با استفاده از روش تحلیل ساختاری و پانل خبرگی

از روش‌های کتابخانه‌ای و اسنادی برای گردآوری اطلاعات استفاده شده است. نمونه‌گیری پژوهش به شکل هدفمند انجام شده است. قلمرو زمانی پژوهش به دلایل مختلفی از قبیل عدم قطعیت موجود در برخی از کلان‌روندها، ماهیت زیرساخت‌های حیاتی، سرعت تغییرات و اهداف پژوهش، ۱۵ سال در نظر گرفته شده است که شامل ۱۰ سال گذشته و ۵ سال آتی است.



شکل ۲- مراحل کلی تحقیق

دریافت نظرات مشارکت کنندگان و ذینفعان در مورد جوانب و رفتارهای پیچیده و غیرقابل پیش بینی یک سیستم است. روش تحلیل ساختاری ابزاری برای پیوند عقاید و تفکرات که از طریق ماتریس ارتباط تمامی متغیرهای سیستم، به توصیف و شناسایی سیستم می پردازد. توانایی این مدل در شناسایی روابط بین متغیرها و در نهایت شناسایی متغیرهای کلیدی مؤثر در تکامل سیستم است [۲۴].

به طور کلی مراحل انجام تحلیل ساختاری به شرح ذیل است:

- تهیه فهرست متغیرهای مهم که می تواند برآمده از نظرات خبرگان یا منابع دیگر باشد.

- تهیه ماتریس  $n \times n$  به تعداد متغیرها (روندها)؛ این ماتریس، ماتریس اثرات مستقیم<sup>۳</sup> نامیده می شود و در آن هر درایه  $m_{ij}$  نمایانگر میزان تأثیر متغیر  $i$  بر متغیر  $j$  است. این تأثیر معمولاً با عددی در مقیاس صفر تا ۳ و یا ۴ (P) مشخص می شود که عدد ۰ بیانگر بدون تأثیر، عدد ۱ بیانگر تأثیر ضعیف، عدد ۲ تأثیر متوسط، عدد ۳ تأثیر شدید و عدد ۴ بیانگر این موضوع است که از نظر کارشناسان و خبرگان شرکت کننده در پژوهش، تأثیر دو متغیر بر

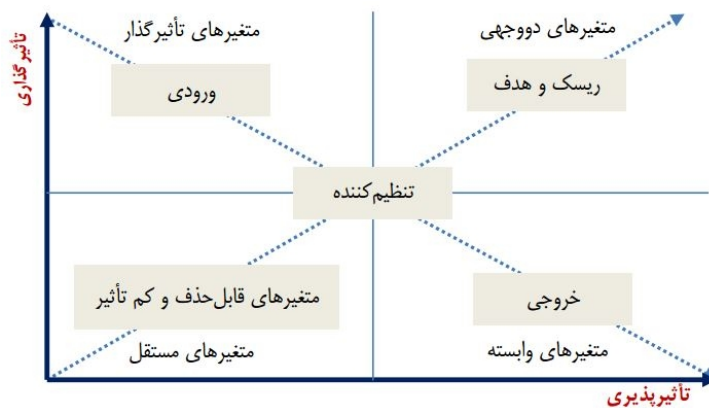
در محیط نرم افزار میک مک<sup>۱</sup> به تحلیل اثرات متقابل هر یک از عوامل عمده شناسایی شده بر یکدیگر پرداخته شد.

روش تحلیل ساختاری به دنبال مشخص کردن متغیرهای کلیدی (آشکار و نهان) به منظور دریافت نظرات و تشویق مشارکت کنندگان و ذینفعان در مورد جوانب و رفتارهای پیچیده و غیرقابل پیش بینی یک سیستم است [۲۲]. در مرحله سوم نیز با توجه نتایج به دست آمده و خروجی نرم افزار، اقدام به دسته بندی کلان روندهای شناسایی شده بر مبنای میزان اثرگذاری و اثرپذیری از یکدیگر شده است و نقشه میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها از یکدیگر و همچنین گراف روابط ضعف و قوت روابط بین متغیرها ارائه شده است.

روش تحلیل اثرات متقابل و ماتریسی در پژوهش های مختلف و متعدد آینده پژوهی کاربرد گسترده ای دارد و غالباً از آن تحت عنوان تحلیل ساختاری<sup>۲</sup> نیز یاد می شود [۲۳]. روش تحلیل ساختاری در شناسایی متغیرها و روندهای کلیدی بسیار مفید است و به دنبال مشخص کردن متغیرهای کلیدی (آشکار یا پنهان) به منظور

<sup>3</sup> MicMac

<sup>4</sup> Structural Analysis



شکل ۳- پراکنش انواع متغیرها در محیط نرم افزار میک مک

و ستونی را روی دو محور تأثیر گذاری و تأثیر پذیری (وابستگی) مکان یابی می کند و این امکان را فراهم می کند که بتوان درباره نقش هر یک از اثرات قضاوت کرد. به این ترتیب، خروجی نرم افزار نقشه های بصری اولیه ای را ارائه می دهد که پایه و اساس تحلیل ها را تشکیل می دهد.

در روش تحلیل اثرات متقابل، بررسی روایی<sup>۲</sup> و پایایی<sup>۳</sup> تحقیق اهمیت بالایی دارد، زیرا نتایج تحلیل به شدت به داده های حاصل از خبرگان و نحوه امتیازدهی آن ها وابسته است. هر دو این شاخص ها برای اطمینان از دقت و قابلیت اتکای نتایج تحلیل به کار می روند. ارزیابی تحقیق به نحوه شناسایی و انتخاب عوامل کلیدی و همچنین ارتباطات بین این عوامل مربوط می شود. برای ارزیابی روایی محتوایی به منظور اطمینان از کامل پوشش داده شدن کلیه عوامل و متغیرهای مربوط به روش شناسایی دقیق و جامع عوامل کلیدی و بازبینی های مکرر توسط خبرگان استفاده شده است.

برای ارزیابی روایی سازه به منظور اطمینان از صحت و دقت روابط و متغیرهای انتخاب شده به دلیل فقر مدل ها و روش هایی توسعه داده شده از در این از تیم خرد جمعی تیم خبره استفاده شد. برای ارزیابی پایایی نتایج از روش باز آزمایی با

یکدیگر احتمالی است به این معنا که ممکن است تأثیر گذاری یا تأثیر پذیری وجود داشته باشد یا نداشته باشد [۲۵]

در مرحله سوم با استفاده از یکی از دو روش ماتریس اثرات مستقیم یا ماتریس اثرات غیرمستقیم<sup>۱</sup> می توان میزان تأثیر را مشخص کرد. در روش مستقیم، تأثیر مستقیم متغیر  $K$  بر دیگر متغیرها حاصل جمع تمامی مقادیر سطر  $K$  از ماتریس  $M$  است و تأثیر پذیری متغیر  $K$  از سایر متغیرها حاصل جمع مقادیر ستون  $K$  است. به این ترتیب رتبه بندی برای هر متغیر به دست می آید و از مرتب سازی این مقادیر، اهمیت هر متغیر محاسبه می شود. فرمول های زیر نشان دهنده جبر ریاضی این فرآیند است [۲۶].

$$I_K = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$D_K = \sum_{j=1}^n m_{ik} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

نرم افزار میک مک، الگوریتمی را برای تعیین موقعیت هر یک از متغیرها مطابق شکل (۳) بکار می گیرد. مهم ترین نقشه های اثرات مستقیم و غیرمستقیم که به تفسیر سریع تر و دقیق تر نتایج کمک می کند، جمع اثرات حاصل از جمع سطری

<sup>3</sup> Validity

<sup>4</sup> Reliability

<sup>2</sup> Matrix of Potential Direct Influence (MPDI)

استفاده از دو گروه خبره استفاده شد. نرم‌افزار میک مک نیز یک ابزار تحت عنوان ارزیابی پایداری<sup>۱</sup> ماتریس اثرات متقاطع دارد که از آن به منظور ارزیابی میزان ثبات یا پایداری نتایج به دست آمده در طول فرآیند تحلیل استفاده می‌شود.

#### ۴- نتایج و بحث

در این مرحله با مطالعه پیشینه، مرور منابع و انجام مصاحبه نیمه ساختاریافته، کلان‌روندهای مؤثر بر عملکرد زیرساخت‌های حیاتی با رویکرد تحلیل پستل مورد شناسایی قرار گرفت. تحلیل پستل، یک ابزار استراتژیک است که برای تحلیل محیط کلان یک سازمان یا صنعت به کار می‌رود. این تحلیل به شناسایی و بررسی تأثیرات عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، زیست‌محیطی و قانونی بر عملکرد و تصمیم‌گیری‌های سازمان می‌پردازد. هدف اصلی تحلیل پستل، شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای بیرونی است که می‌تواند بر استراتژی‌ها و عملکرد آینده سازمان تأثیر بگذارد. این تحلیل به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با داشتن درک بهتری از محیط خارجی، تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تری انجام دهند و ریسک‌ها را مدیریت کنند [۲۷].

#### ۴-۱- کلان‌روندهای مؤثر بر مدیریت

##### زیرساخت‌های حیاتی در حوزه سیاسی

روندهای کلان ژئوپلیتیکی و مناسبات بین‌المللی تأثیر عمیقی بر عملکرد و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی دارند. این روندها می‌توانند از ابعاد مختلفی زیرساخت‌های حیاتی تحت تأثیر قرار دهند که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

الف- شکل‌گیری نظم نوین جهانی: ظهور قدرت‌های جدید، چندقطبی شدن دنیا و تغییر توازن قدرت جهانی یکی از کلیدی‌ترین روندهای سیاسی و ژئوپلیتیکی است که به طور قابل توجهی بر مدیریت زیرساخت‌های حیاتی تأثیر می‌گذارد. این روند شامل انتقال قدرت از کشورهای سنتی غربی به سمت کشورهای نوظهور اقتصادی و سیاسی در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین است. در این میان، چین، هند و کشورهای عضو گروه بریکس (برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی) به عنوان قدرت‌های جدید در حال شکل‌گیری هستند که نقش مهمی در تغییر توازن قدرت جهانی ایفا می‌کنند.

از سوی دیگر، رقابت استراتژیک بین این قدرت‌های نوظهور و قدرت‌های قدیمی مانند ایالات متحده و اتحادیه اروپا نیز تشدید شده است. این تغییرات می‌توانند الگوهای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های جهانی مثل پروژه ابتکار کمربند و جاده چین (BRI)، استانداردها و هنجارهای حاکم بر زیرساخت‌های بین‌المللی و ملی و همچنین نحوه تأمین مالی و ساخت و نگهداری زیرساخت‌های حیاتی در سطح جهانی را تغییر دهند [۲۸].

##### ب- تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی:

تحریم‌های بین‌المللی تأثیرات عمیقی بر زیرساخت‌های حیاتی کشورهای دارند، از جمله محدودیت در دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و منابع مالی، ایجاد اختلال در زنجیره تأمین واردات تجهیزات ضروری، تشدید بحران‌های اقتصادی و اجتماعی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات خارجی. این تحریم‌ها همچنین می‌توانند باعث افزایش هزینه‌های اجرایی و زمان‌بری پروژه‌های زیرساختی شوند و در برخی موارد کشورها را به سمت خودکفایی سوق دهند،

<sup>3</sup> Belt and Road Initiative

<sup>1</sup> Stability

اگرچه این خودکفایی معمولاً با کیفیت پایین‌تر و هزینه‌های بیشتر همراه است [۲۰].

**پ- اهمیت فراینده موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها:** تحولات و تنش‌های اخیر بین‌المللی حاکی از آن است که موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها نقش تعیین‌کننده در معادلات نظام بین‌الملل دارد و بسیاری از بحران‌های کنونی، ریشه ژئوپلیتیکی دارند. جایگاه ژئوپلیتیک کشورها، نقش مهمی در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشورها ایفا می‌کند و فرصت‌ها و تهدیدهای بسیاری را در حوزه زیرساخت‌های حیاتی متوجه کشورها می‌نماید. افزایش رقابت‌ها و تنش‌های ژئوپلیتیکی مثل جنگ اوکراین می‌توانند به افزایش تهدیدات علیه زیرساخت‌ها منجر شوند، به‌ویژه در حوزه‌های انرژی، مواد غذایی، حمل‌ونقل و ارتباطات که اهداف استراتژیک و مزیت رقابتی کشورها به شمار می‌روند.

زیرساخت به‌طور فراینده‌ای به‌عنوان ابزاری برای نفوذ ژئوپلیتیکی دیده می‌شود. به‌عنوان مثال، پروژه ابتکار کمربند و جاده چین به چین اجازه داده است تا بندرها استراتژیک و مسیرهای حمل‌ونقل را ایمن کند که می‌تواند هم اهداف اقتصادی و هم اهداف نظامی را تأمین کند. این ماهیت استفاده دوگانه زیرساخت بر اهمیت آن در پویایی قدرت جهانی تأکید دارد. کشورهایی که در مناطق استراتژیک قرار دارند، مانند تنگه‌های مهم یا مناطق غنی از منابع طبیعی، معمولاً زیرساخت‌های حیاتی حساسی مانند خطوط لوله نفت، بندرها و شبکه‌های انرژی دارند که در معرض تهدیدات امنیتی بیشتری قرار می‌گیرند.

**ت- تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای:** تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای، شامل بازنگری و تحول در ساختارها و قواعد بین‌المللی است که برای مدیریت جهانی امور اقتصادی، سیاسی و امنیتی ایجاد شده‌اند. این تغییرات

معمولاً ناشی از تغییر توازن قدرت جهانی، ظهور قدرت‌های نوظهور و کاهش نفوذ نهادهای سنتی مانند سازمان ملل یا سازمان تجارت جهانی است. در همین حال، همکاری‌های منطقه‌ای نیز با تأکید بیشتر بر ترتیبات منطقه‌ای و پیمان‌های جدید بین کشورها، به‌ویژه در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین در حال بازتعریف است. تشکیل ائتلاف‌ها و همکاری‌های منطقه‌ای مانند اتحادیه اروپا، سازمان همکاری‌های شانگهای و ناتو، می‌تواند بر نحوه مدیریت و توسعه زیرساخت‌های حیاتی تأثیر بگذارد. این همکاری‌ها ممکن است شامل به اشتراک‌گذاری منابع، انتقال فناوری و هماهنگی در سیاست‌گذاری‌های مرتبط با زیرساخت‌ها باشد. مجموع این تحولات می‌تواند فرصت‌ها و چالش‌های متنوعی برای مدیریت زیرساخت‌های حیاتی ایجاد کنند.

**ث- ظهور نسل‌های جدید تروریسم:** در دهه گذشته، مسئله تروریسم دچار تحولاتی گسترده شده است که ناشی از تغییرات در ماهیت، روش‌ها و بازیگران این پدیده بوده است که از جمله آنها می‌توان به افزایش تروریسم غیر مرکزی و غیر سنتی، استفاده گسترده‌تر از فناوری، گسترش تروریسم در مناطق جدید و افزایش پیچیدگی در مقابله با تروریسم اشاره نمود. زیرساخت‌های حیاتی به دلایل مختلفی همواره یکی از اهداف جذاب تروریسم بوده است. این تحولات نشان‌دهنده تغییرات گسترده در چشم‌انداز تروریسم است که نیاز به رویکردهای جدید و نوآورانه برای مقابله با این تهدیدات دارد.

#### ۴-۲- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در حوزه اقتصادی

**الف- فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی:** فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی، تأثیرات جدی بر مدیریت این زیرساخت‌ها دارد و باعث افزایش چالش‌ها در بهره‌برداری، نگهداری و تأمین امنیت

آن‌ها می‌شود. فرسودگی می‌تواند منجر به کاهش کارایی، افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش خطرات ناشی از خرابی‌های ناگهانی شود. این شرایط نه تنها پایداری و قابلیت اطمینان زیرساخت‌ها را تهدید می‌کند، بلکه امنیت ملی و رفاه عمومی را نیز در معرض خطر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، فرسودگی شبکه‌های برق و حمل‌ونقل می‌تواند منجر به قطعی‌های گسترده، افزایش حوادث و کاهش کارایی اقتصادی شود. علاوه بر این، فرسودگی زیرساخت‌ها آن‌ها را در برابر تهدیدات مانند حملات سایبری و بلایای طبیعی آسیب‌پذیرتر می‌کند که مدیریت مؤثر و ارتقای تاب‌آوری این زیرساخت‌ها را الزامی می‌سازد.

**ب- جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین:** جهانی‌شدن وابستگی در زنجیره‌های تأمین به معنای تعاملات پیچیده و فزاینده اقتصادی و فناوری بین کشورها است که زیرساخت‌های حیاتی مانند انرژی، حمل‌ونقل، ارتباطات و مواد غذایی و غیره را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این وابستگی، از یک‌سو، امکان دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و افزایش بهره‌وری را فراهم می‌کند، اما از سوی دیگر، آسیب‌پذیری این زیرساخت‌ها را در برابر بحران‌های جهانی و نوسانات بین‌المللی افزایش می‌دهد. برای مثال، بحران‌های زنجیره تأمین در پی همه‌گیری کووید-۱۹ و جنگ اوکراین نشان دادند که اختلال در یک بخش از جهان می‌تواند به سرعت تأثیرات گسترده‌ای بر زیرساخت‌های حیاتی در سایر نقاط داشته باشد. به‌عنوان نمونه، تأخیر در تأمین نیمه‌هادی‌ها در آسیا منجر به اختلالات گسترده در صنعت خودروسازی در اروپا و آمریکا شد [۲۰].

**پ- تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت:** علی‌رغم توجیه اقتصادی مناسب سرمایه‌گذاری در حوزه زیرساخت‌ها، جهان با ۱۵ تریلیون دلار

شکاف بین سرمایه‌گذاری پیش‌بینی شده و مقدار مورد نیاز برای تأمین زیرساخت‌های جهانی کافی تا سال ۲۰۴۰ مواجه است [۱۸]. این شکاف مالی با مسائلی مختلفی از قبیل تحریم‌های و عدم سرمایه‌گذاری‌های خارجی، فساد، بوروکراسی اداری طولانی و پیچیده و کمبود فزاینده نیروی کار مرتبط است.

**ت- ناترازی عرضه و تقاضا:** ناترازی عرضه و تقاضا تأثیرات عمیقی بر مدیریت زیرساخت‌های حیاتی دارد. این ناترازی که ممکن است در بخش‌هایی مانند انرژی، آب، یا حمل‌ونقل به وجود آید، می‌تواند منجر به فشار بر زیرساخت‌ها، افزایش هزینه‌ها، افزایش ریسک‌های امنیتی و پایداری، اختلال در خدمات عمومی و کاهش کارایی آن‌ها شود و حتی در مواقعی به حتی بحران‌های انسانی و محیطی منجر شود. این چالش‌ها که با دلایل مختلفی از جمله کمبود منابع، تغییر الگوی مصرف و غیره رخ می‌دهد، مدیریت زیرساخت‌ها را پیچیده‌تر کرده و نیازمند برنامه‌ریزی دقیق‌تر، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید و ارتقای بهره‌وری در مصرف منابع می‌سازد. در نهایت، این روند بر نیاز به هماهنگی و همکاری بیشتر بین نهادهای دولتی و خصوصی و همچنین تقویت سیاست‌های پایدار و سازگار با محیط‌زیست تأکید می‌کند تا از پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در مواجهه با ناترازی‌ها اطمینان حاصل شود.

**ث- ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال:** ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال تأثیرات قابل‌ملاحظه‌ای بر مدیریت زیرساخت‌های حیاتی می‌تواند داشته باشد. با گسترش اقتصاد دیجیتال، از یک‌سو زیرساخت پولی و بانکی کشورها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و از سوی دیگر نیاز به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات به شدت افزایش یافته است. این زیرساخت‌ها که شامل شبکه‌های ارتباطی و سیستم‌های ابری هستند، به بخش‌های

کلیدی اقتصاد مانند مالی، انرژی و حمل‌ونقل وابسته شده‌اند. توسعه اقتصاد دیجیتال موجب شده تا این زیرساخت‌ها به‌عنوان نقاط ضعف بالقوه در برابر حملات سایبری و سایر تهدیدات تبدیل شوند. همچنین، گسترش اقتصاد دیجیتال فرصت‌های جدیدی برای بهره‌وری و نوآوری ایجاد کرده، اما هم‌زمان چالش‌های جدیدی در مدیریت و حفظ امنیت این زیرساخت‌ها پدید آورده است.

### ۳-۴- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در حوزه اجتماعی

**الف- تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار (رشد و پیری جمعیت، مهاجرت و غیره):** تغییرات جمعیتی و نیروی کار به شکل قابل توجهی بر زیرساخت‌های حیاتی مانند انرژی، حمل‌ونقل، بهداشت و آب تأثیر می‌گذرانند. این اثرات ممکن است مثبت یا منفی باشند و به عوامل مختلفی از جمله نرخ رشد جمعیت، نحوه توزیع جغرافیایی، توزیع سنی جمعیت، میزان و جهت مهاجرت و تغییرات در نیروی کار بستگی دارد. افزایش جمعیت، تقاضا را برای زیرساخت‌های حیاتی افزایش داده و منجر به فشار بیشتر بر سیستم‌های موجود و نیاز به توسعه و بهبود زیرساخت‌ها ایجاد می‌شود. پیری جمعیت باعث افزایش فشار بر سیستم‌های بهداشتی و درمانی و ایجاد کمبود نیروی کار جوان و ماهر شود. پدیده مهاجرت هم در سطح داخلی و هم در سطح خارجی، چالش‌های عمده‌ای در حوزه زیرساخت‌های حیاتی در کشورهای مبدأ ایجاد می‌کند [۲۹].

برای مثال در برخی کشورهای آفریقایی، بیش از ۵۰ درصد از پزشکان تحصیل کرده در داخل کشور، به کشورهای توسعه‌یافته مهاجرت کرده‌اند یا در سال ۲۰۲۱، در کشور فیلیپین، حدود ۲,۲ میلیون نفر نیروی کار متخصص را به خارج از کشور مهاجرت کردند. به‌طور کلی، تغییرات

جمعیتی به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نیازمند است تا برنامه‌های منعطف‌تری برای تطبیق با این تغییرات طراحی کنند و از این طریق بتوانند هم‌زمان با حفظ پایداری و زیرساخت‌ها، نیازهای نیروی کار و اقتصادی کشورها را تأمین کنند.

**ب- رشد شهرنشینی (به‌سوی یک جهان شهری‌تر):** رشد شهرنشینی و شکل‌گیری کلان‌شهرها و کلان‌منطقه‌ها، زیرساخت‌های حیاتی مانند آب، انرژی، حمل‌ونقل و بهداشت را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش جمعیت شهری، تقاضا برای این زیرساخت‌ها به شدت افزایش می‌یابد که می‌تواند منجر به فشار بر منابع و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های بزرگ‌تر در توسعه و پایداری این زیرساخت‌ها شود. به‌طور مثال بر اساس گزارش‌های جهانی تا سال ۲۰۵۰، حدود ۶۸ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی خواهند کرد [۳۰].

رشد شتابان شهرنشینی از یک‌سو موجب افزایش تقاضا برای گسترش زیرساخت‌های حیاتی شده و از سوی دیگر، به دلیل تراکم جمعیت و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، سطح آسیب‌پذیری این زیرساخت‌ها را در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی افزایش می‌دهد. این پدیده همچنین چالش‌های قابل توجهی را در زمینه ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌ها ایجاد می‌کند، چراکه ظرفیت سیستم‌ها برای مقابله با اختلالات و بازگشت به وضعیت عادی تحت فشار قرار می‌گیرد.

**پ- تعمیق شکاف جهانی و نابرابری‌های اجتماعی:** شکاف جهانی به شکاف‌های گسترده در ثروت، دسترسی دیجیتال، آموزش و حتی نتایج سلامت در داخل و بین کشورها اشاره دارد. در سال‌های اخیر، تقریباً در همه کشورها، شکاف بین ثروتمندان و دیگران به طرز چشمگیری افزایش یافته است. ایجاد شکاف جهانی و افزایش نابرابری اجتماعی به‌طور مستقیم بر

زیرساخت‌های حیاتی تأثیر می‌گذارد. افزایش نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی میان و درون کشورها، اغلب منجر به توزیع نابرابر منابع و سرمایه‌گذاری‌های ناکافی در زیرساخت‌های حیاتی می‌شود. این وضعیت می‌تواند به نابرابری در دسترسی به خدمات پایه مانند آب، برق و بهداشت منجر شود و نارضایتی‌های اجتماعی و بی‌ثباتی سیاسی را تشدید کند.

**ث- افزایش نگرانی‌های بهداشتی:** افزایش نگرانی‌های بهداشتی، مانند شیوع بیماری‌های همه‌گیر و افزایش بیماری‌های مزمن، تأثیرات گسترده‌ای بر زیرساخت‌های حیاتی بخصوص زیرساخت بهداشت و درمان دارد. به‌عنوان مثال، شیوع کووید-۱۹ فشار زیادی بر سیستم‌های بهداشت و درمان وارد کرد و باعث شد کشورها میلیاردها دلار برای توسعه بیمارستان‌ها و تأمین تجهیزات پزشکی هزینه کنند. این وضعیت نشان‌دهنده نیاز به تقویت زیرساخت‌های بهداشتی برای مقابله با بحران‌های آینده است. علاوه بر این، نگرانی‌های مرتبط با بیماری‌های منتقله از طریق آب و آلودگی‌ها، نیاز به ارتقای سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب را تشدید کرده است [۳۱]. این اثرات نشان می‌دهند که زیرساخت‌های حیاتی باید به‌طور مداوم با توجه به چالش‌های بهداشتی در حال ظهور به‌روز شوند.

#### ۴-۴- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در حوزه فناوری

کلان‌روندهای فناوری از یک‌سو به‌طور مستقیم بر زیرساخت‌های حیاتی به‌طور گسترده‌ای تأثیر می‌گذارند و از سوی دیگر با تأثیرگذاری بر سایر ابعاد امنیت ملی از قبیل بعد اقتصادی، سیاسی، بهداشتی و غیره به‌طور غیرمستقیم زیرساخت‌های حیاتی را دگرگون می‌کنند. ازجمله کلان‌روندهایی که به‌طور مستقیم بر

زیرساخت‌های حیاتی تأثیر دارند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

**الف- هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور:** تکنولوژی‌هایی مانند اینترنت اشیا<sup>۱</sup>، هوش مصنوعی، کوانتوم، بلاکچین و محاسبات ابری در حال تغییر دادن زیرساخت‌های حیاتی هستند. این فناوری‌ها با ترکیب و همگرایی خود بسترهای لازم برای پایش لحظه‌ای زیرساخت‌ها و جلوگیری از بروز مشکلات، تولید مواد نوآورانه و افزایش عمر زیرساخت‌ها و کاهش نیاز به تعمیرات، تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی مشکلات، بهبود تصمیم‌گیری در بحران‌ها، به‌کارگیری ربات‌ها و کاهش خطاهای انسانی و اجرای عملیات در محیط‌های خطرناک، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش پایداری شبکه‌ها و غیره را فراهم می‌آورند و در مجموع منجر به افزایش پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌ها می‌شوند [۳۲].

**ب- افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور:** فناوری‌های نوظهور، با وجود مزایای بسیاری که در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی ارائه می‌دهند، می‌توانند تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های جدیدی نیز به همراه داشته باشند که ازجمله آنها می‌توان به افزایش حملات سایبری، پیچیدگی بیشتر سیستم‌ها، مشکلات حریم خصوصی و داده‌ها، سازگاری و به‌روزرسانی، تداخل‌های فنی و غیره اشاره نمود.

**پ- افزایش وابستگی به فناوری:** با توسعه و گسترش فناوری‌های نوظهور، روزبه‌روز بر وابستگی زیرساخت‌های حیاتی به فناوری افزوده می‌شود که می‌تواند تبعات زیادی از قبیل افزایش ریسک خرابی‌ها، پیچیدگی در مدیریت بحران، افزایش هزینه‌های نگهداری و به‌روزرسانی، کاهش مهارت‌های انسانی و غیره به همراه داشته باشد.

<sup>1</sup> Internet of Things

#### ۴-۵- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در حوزه زیست‌محیطی

**الف- مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی (فرونشست، رعدوبرق، خشک‌سالی، گرمایش و غیره):** مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی تأثیرات عمیقی بر زیرساخت‌های حیاتی دارند. سیل‌ها، طوفان‌ها، زلزله‌ها و افزایش سطح دریاها می‌توانند به شبکه‌های برق، حمل‌ونقل، آب و ارتباطات آسیب بزنند و عملکرد آن‌ها را مختل کنند. افزایش دما و تغییر الگوهای بارندگی نیز می‌تواند باعث فرسایش و خرابی زیرساخت‌ها شود. این تهدیدات نیازمند سرمایه‌گذاری در مقاومت‌سازی و تطبیق زیرساخت‌ها با شرایط جدید است تا از پایداری و امنیت آن‌ها در برابر تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی اطمینان حاصل شود.

**ب- افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر:** انرژی سبز، به عنوان یکی از اصلی‌ترین راهکارها برای مواجهه با چالش‌های محیط‌زیستی و انرژی در آینده، نقش بسیار مهمی در جهان امروز دارد. روند تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزینی پایدار برای سوخت‌های فسیلی در کشورهای سراسر جهان شتاب قابل‌توجهی گرفته است.

بسیاری از کشورها در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرفت کرده‌اند و حداقل ۳۰ کشور در سراسر جهان وجود دارند که در سطح ملی حداقل ۲۰ درصد از انرژی خود را از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌کنند. چین همچنان از نظر افزایش ظرفیت برق تجدیدپذیر پیش‌تاز و قرار است تقریباً ۵۵ درصد از افزایش ظرفیت جهانی انرژی تجدیدپذیر در سال جاری میلادی را به خود اختصاص دهد. بر اساس این روندها، جهان در سال ۲۰۳۰ ظرفیت تولید نیروگاه خورشیدی فتوولتایی (PV) کافی خواهد داشت تا بتواند به راحتی سطح تقاضای سالانه پیش‌بینی‌شده در

سناریوی انتشار صفر خالص اژانس بین‌المللی انرژی تا سال ۲۰۵۰ را برآورده کند [۳۳].

**پ- بحران آب:** بحران آب تأثیرات جدی بر زیرساخت‌های حیاتی به‌ویژه در بخش‌های مرتبط با تأمین آب، انرژی و کشاورزی دارد. کمبود منابع آب می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کارایی شبکه‌های آبرسانی شود که به‌نوبه خود کیفیت آب آشامیدنی را کاهش داده و خطرات بهداشتی را افزایش می‌دهد. در مناطق مستعد خشک‌سالی، مانند خاورمیانه و شمال آفریقا، کمبود آب می‌تواند به تخریب زیرساخت‌های کشاورزی و افزایش هزینه‌های تولید غذا منجر شود. این وضعیت به‌طور مستقیم بر امنیت غذایی و اقتصادی تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، بیش از ۲ میلیارد نفر در جهان به آب آشامیدنی ایمن دسترسی ندارند که این موضوع به بحران‌های بهداشتی و اقتصادی منجر شده است [۳۴]. همچنین، تغییرات اقلیمی با افزایش دما و کاهش بارش‌ها، این بحران را تشدید کرده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۴۰ بسیاری از مناطق با کاهش ۲۰ درصدی منابع آب تجدیدپذیر روبرو شوند [۳۵].

#### ۴-۶- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی در حوزه قانونی

**الف- ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز:** بدون تردید ایجاد ساختارهای متناسب و تدوین چشم‌اندازهای مدیریت راهبردی زیرساخت‌های حیاتی یکی از کلیدی‌ترین و مؤثرترین اقداماتی است که می‌تواند در راستای تضمین حفاظت، پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی انجام پذیرد. امروزه بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا، اقداماتی بسیار اثربخشی را در این حوزه انجام دادند که قابلیت الگوبرداری و بومی‌سازی دارند. ایجاد ساختارهای مدیریتی مناسب و تدوین چشم‌انداز استراتژیک در مدیریت زیرساخت‌های

حیاتی باعث افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، بهبود پایداری و کاهش ریسک‌ها می‌شود. این اقدامات همچنین تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را تسهیل می‌کنند و به سازمان‌ها کمک می‌کنند به تغییرات محیطی به موقع واکنش نشان دهند.

**ب- تنظیم‌گری<sup>۱</sup> و افزایش مشارکت بخش عمومی-خصوصی (P3):** تنظیم‌گری در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی برای تضمین ایمنی، پایداری و کارایی اهمیت زیادی دارد. در گذشته، دولت‌ها تنها تأمین‌کننده زیرساخت‌ها بودند، اما به دلیل کاهش درآمد و افزایش هزینه‌ها، به بخش خصوصی روی آوردند. این تغییر از یک‌سو باعث افزایش بهره‌وری و نوآوری شده، ولی از سوی دیگر ممکن است مشکلاتی مانند کاهش امنیت و کنترل دولت را به همراه داشته باشد؛ بنابراین، دولت باید با تنظیم‌گری هوشمندانه، بین مزایا و ریسک‌های مشارکت بخش خصوصی تعادل برقرار کند.

## ۵- یافته‌های تحقیق

تحلیل اثرات متقابل کلان‌روندهای شناسایی شده در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور در سه مرحله به شرح ذیل صورت گرفت:

### ۵-۱- تعریف مسئله و شناسایی عوامل کلیدی

در مرحله قبلی پژوهش، مسئله موردبررسی تعریف و با استفاده از روش پنل خبرگان و رویکرد پستل، تعداد ۲۲ عامل کلیدی در ۶ دسته‌بندی اصلی شامل عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناوری، زیست‌محیطی و قانونی شناسایی شد. این عوامل به همراه کدهای مربوطه در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

## ۵-۲- تهیه ماتریس اثرات متقابل

در این مرحله باید بررسی شود که هر عامل چگونه بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد. ماتریس اثرات متقابل یک ماتریس مربعی است که در آن، ردیف‌ها و ستون‌ها نشان‌دهنده عوامل سیستم هستند. هر سلول در این ماتریس نشان می‌دهد که عامل ردیف چه تأثیری بر عامل ستون دارد. برای هر جفت عامل، خبرگان شدت تأثیرگذاری را در یک مقیاس عددی بر مبنای جدول (۴) تعیین می‌کنند. گفتنی است با توجه به اینکه نرم‌افزار میک مک، صرفاً اعداد صحیح ۰، ۱، ۲، ۳ را می‌پذیرد. در این پژوهش، برای تعیین شدت تأثیرگذاری نهایی از شاخص مد استفاده شد.

جدول (۵) ماتریس اثرات متقابل کلان‌های روندهای شناسایی شده که از طریق پانل خبرگی به‌دست آمده است را نشان می‌دهد.

## ۵-۳- تحلیل ماتریس اثرات متقابل

ویژگی‌های عمومی ماتریس اثرات متقابل به‌دست آمده شامل تعداد ضرایب تأثیرگذاری و میزان پایداری ماتریس محاسبه شده در جدول (۶) و جدول (۷) آورده شده است. پایداری ماتریس به معنای میزان ثبات یا پایداری نتایج آن در طول فرآیند تحلیل است. پایداری به‌طور خاص روی ثبات نتایج در طول زمان تمرکز دارد و یکی از معیارهای سنجش پایایی<sup>۲</sup> است. پایداری بالاتر به این معنا است که نتایج تحلیل قابل‌اعتمادتر هستند و روابط موجود در سیستم به خوبی شناسایی شده‌اند و احتمال ایجاد نتایج نادرست یا انحرافات زیاد کمتر است.

خروجی‌های روش تحلیل ساختاری را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. نخست بر اساس ماتریس اثرات مستقیم؛ مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار وابسته شناسایی می‌شود. دوم بر اساس

<sup>1</sup> Regulation

<sup>2</sup> P3: Public-Private Partnership

<sup>1</sup> Reliability

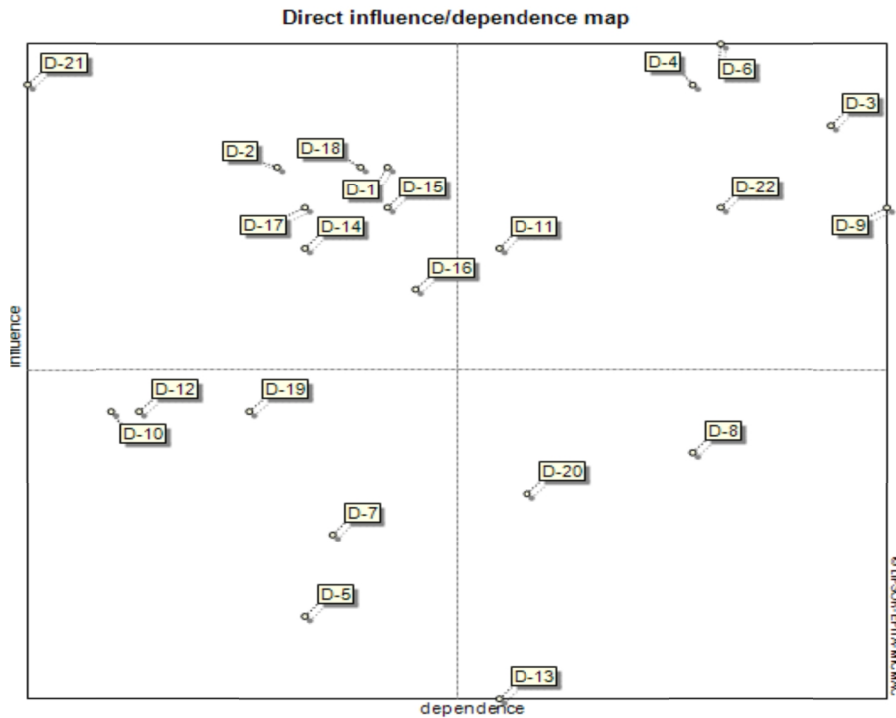
### جدول ۳- کلان‌روندهای مؤثر بر آینده زیرساخت‌های حیاتی

N <sup>0</sup>	Theme	Long Label	Short Label	Description
۱	سیاسی	شکل‌گیری نظم نوین جهانی	نظم نوین جهانی	D1
۲		تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی	تحریم‌های بین‌المللی	D2
۳		اهمیت فراینده موقعت ژئوپلیتیکی کشورها	ژئوپلیتیک کشورها	D3
۴		تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای	تحولات نظام حکمرانی	D4
۵		ظهور نسل‌های جدید تروریسم	تروریسم نوین	D5
۶	اقتصادی	فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی	فرسودگی زیرساخت‌ها	D6
۷		جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین	وابستگی زنجیره‌های تأمین	D7
۸		تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت	بحران مالی زیرساخت‌ها	D8
۹		ناترازی عرضه و تقاضا	ناترازی عرضه و تقاضا	D9
۱۰		ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال	اقتصاد دیجیتال	D10
۱۱	اجتماعی	تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار	تغییرات جمعیتی	D11
۱۲		رشد شهرنشینی (به‌سوی یک جهان شهری‌تر)	رشد شهرنشینی	D12
۱۳		تعمیق شکاف جهانی و نابرابری‌های اجتماعی	نابرابری‌های اجتماعی	D13
۱۴		افزایش نگرانی‌های بهداشتی	نگرانی‌های بهداشتی	D14
۱۵	فناوری	هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور	زیرساخت‌های هوشمند	D15
۱۶		افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور	تهدیدات فناوری پایه	D16
۱۷		افزایش وابستگی به فناوری	وابستگی به فناوری	D17
۱۸	زیست‌محیطی	مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی	مخاطرات طبیعی و اقلیمی	D18
۱۹		افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر	انرژی‌های تجدید پذیر	D19
۲۰		بحران آب	مسئله آب	D20
۲۱	قانونی	ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز	ساختار و چشم‌انداز	D21
۲۲		افزایش مشارکت بخش خصوصی و ضرورت تنظیم‌گری	مشارکت عمومی- خصوصی	D22

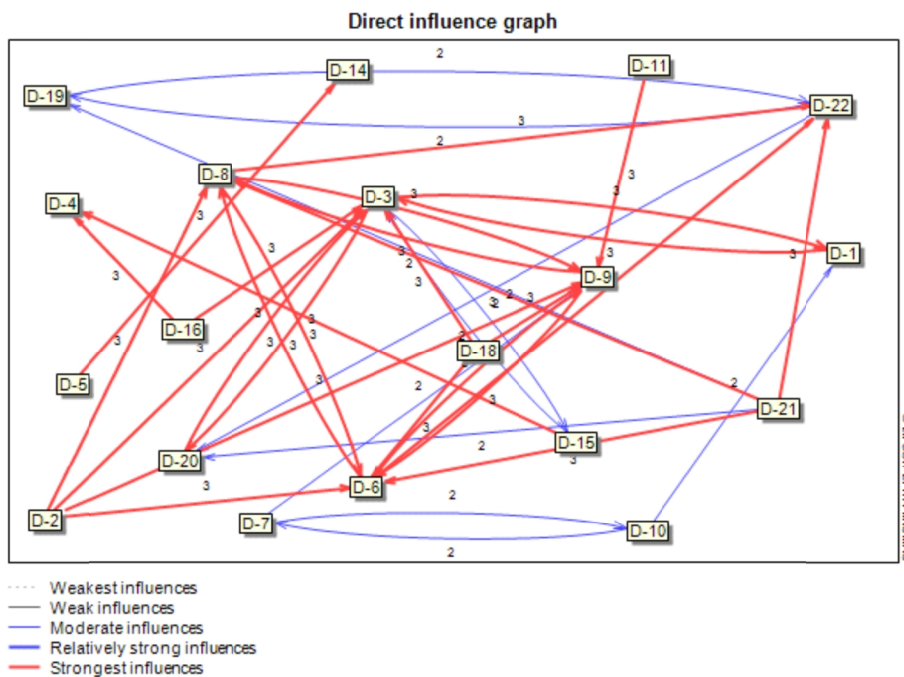
### جدول ۴- الگوی وزن دهی کلان‌روندها

میزان اثر	تعریف نرم‌افزار میک مک	کد مربوطه
بدون اثر	No influence	۰
ضعیف	Weak	۱
متوسط	Moderate influence	۲
زیاد	Strong influence	۳
بالقوه	Potential influence	P





شکل ۴- نقشه راهنمای تحلیل اثرات مستقیم



شکل ۵- نمودار اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر در ماتریس اثرات مستقیم

اثرات مستقیم را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تحلیل اثرات مستقیم، شش متغیر «اهمیت فراینده موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها»، «تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای»، «فرسودگی

تحلیل نوع اول: تحلیل ماتریس اثرات مستقیم: شکل (۴) و شکل (۵) به ترتیب نقشه راهنمای تحلیل اثرات مستقیم و نمودار اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر در ماتریس اثرات مستقیم و جدول (۸) مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس

جدول ۸- مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس اثرات مستقیم

Nº	VARIABLE	TOTAL NUMBER OF ROWS	TOTAL NUMBER OF COLUMNS
1	D1	31	26
2	D2	31	22
3	D3	32	42
4	D4	33	37
5	D5	20	23
6	D6	34	38
7	D7	22	24
8	D8	24	37
9	D9	30	44
10	D10	25	16
11	D11	29	30
12	D12	25	17
13	D13	18	30
14	D14	29	23
15	D15	30	26
16	D16	28	27
17	D17	30	23
18	D18	31	25
19	D19	25	21
20	D20	23	31
21	D21	33	13
22	D22	30	38
	Totals	613	613

زیرساخت‌های حیاتی»، «تأترازی عرضه و تقاضا»، «تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار» و «تنظیم‌گری و مشارکت بخش خصوصی» در ربع اول قرار گرفتند و دارای بیشترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور هستند و جزء مهم‌ترین متغیرهای سیستم محسوب می‌شوند که در پویای سیستم نقش محوری ایفا می‌کنند و می‌بایست موردتوجه ویژه قرار بگیرند.

هشت متغیر «شکل‌گیری نظم نوین جهانی»، «تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی»، «افزایش نگرانی‌های بهداشتی»، «هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور»، «افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور»، «افزایش وابستگی به فناوری»، «مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی» و «ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز» در ربع دوم

قرار گرفتند و دارای اثرگذاری بیشتر نسبت به اثرپذیری بوده و در ناحیه بالا سمت چپ نقشه قرار می‌گیرند و جزء متغیرهای محیطی سیستم هستند.

موقعیت متغیر بیست‌ویکم یعنی «ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز» بیش از سایر متغیرها در این ناحیه جلب‌توجه که نشان از اهمیت و ضرورت آن و نقش‌آفرینی بالای آن در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی است. متغیرهای «ظهور نسل‌های جدید تروریسم»، «جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین»، «ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال»، «رشد شهرنشینی (به سوی یک جهان شهری‌تر)» و «افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر» در ربع سوم قرار گرفتند و میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنها از سیستم تقریباً برابر است. متغیرهای «تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت»، «تعمیق شکاف جهانی و نابرابری‌های

جدول ۹- ماتریس اثرات غیرمستقیم متغیرهای مؤثر در سیستم

	1 : D-1	2 : D-2	3 : D-3	4 : D-4	5 : D-5	6 : D-6	7 : D-7	8 : D-8	9 : D-9	10 : D-10	11 : D-11	12 : D-12	13 : D-13	14 : D-14	15 : D-15	16 : D-16	17 : D-17	18 : D-18	19 : D-19	20 : D-20	21 : D-21	22 : D-22
1 : D-1	1032	891	1635	1402	915	1449	932	1425	1684	695	1152	683	1158	917	1061	1090	857	968	829	1301	544	1469
2 : D-2	1053	901	1690	1444	935	1494	951	1472	1730	700	1184	700	1200	946	1090	1089	904	1011	858	1305	552	1510
3 : D-3	1062	913	1614	1439	972	1455	984	1462	1752	694	1217	693	1201	923	1119	1092	826	991	889	1362	550	1539
4 : D-4	1125	938	1726	1480	965	1534	985	1513	1798	723	1236	715	1230	970	1115	1137	910	1024	874	1365	582	1561
5 : D-5	720	589	1117	963	610	975	625	961	1140	448	785	462	785	643	691	720	596	664	554	852	366	992
6 : D-6	1118	966	1721	1517	1024	1531	1039	1554	1836	742	1267	722	1271	969	1181	1154	893	1052	937	1425	591	1602
7 : D-7	777	652	1181	1026	680	1049	686	1042	1244	512	857	486	849	665	789	803	629	699	605	939	395	1099
8 : D-8	865	710	1368	1166	735	1226	777	1171	1424	545	993	563	945	770	873	873	716	809	669	1058	439	1256
9 : D-9	1012	872	1596	1370	882	1420	892	1405	1634	669	1109	674	1143	891	1024	1042	849	963	813	1257	544	1424
10 : D-10	886	730	1376	1185	772	1209	787	1199	1427	573	977	567	966	776	892	905	741	823	685	1056	439	1268
11 : D-11	997	845	1532	1301	859	1362	867	1350	1629	651	1111	662	1109	862	1004	1025	806	947	792	1248	534	1406
12 : D-12	830	705	1326	1145	737	1177	758	1173	1372	544	936	561	948	748	852	853	697	820	687	1039	435	1200
13 : D-13	611	511	995	841	533	889	561	855	1022	403	720	415	689	555	630	643	514	581	489	774	324	908
14 : D-14	978	819	1483	1281	860	1321	865	1318	1568	635	1095	650	1082	836	980	1008	781	921	777	1227	509	1382
15 : D-15	1021	865	1612	1379	890	1424	906	1413	1655	676	1134	690	1142	902	1025	1072	851	980	811	1267	536	1464
16 : D-16	965	819	1562	1312	852	1354	856	1328	1580	640	1060	630	1080	873	985	990	838	904	767	1159	495	1365
17 : D-17	994	866	1530	1328	890	1363	897	1354	1615	666	1104	639	1111	858	1042	1029	796	921	813	1266	529	1401
18 : D-18	1079	922	1720	1460	913	1527	953	1484	1783	696	1203	703	1210	970	1091	1095	913	1037	854	1330	580	1525
19 : D-19	890	736	1417	1209	764	1250	787	1231	1456	572	1002	602	992	800	881	922	754	857	696	1077	454	1292
20 : D-20	780	630	1248	1026	670	1102	682	1082	1280	499	890	523	881	698	767	780	660	744	619	949	414	1105
21 : D-21	1099	939	1731	1494	981	1555	1002	1544	1812	729	1249	728	1253	969	1144	1131	897	1050	912	1393	584	1586
22 : D-22	1034	898	1600	1396	910	1435	922	1426	1687	706	1145	678	1162	911	1072	1098	840	977	842	1315	556	1472

مؤثر بر سیستم به دست آمده است را نشان می‌دهد. شکل (۶) و شکل (۷) نیز به ترتیب نقشه راهنمای تحلیل اثرات غیرمستقیم و نمودار اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر در ماتریس اثرات غیرمستقیم و جدول (۹) نیز مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس اثرات مستقیم را نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده در این مرحله که به منظور شناسایی اثرات غیرمستقیم و پنهان متغیرها بر یکدیگر انجام می‌شود، نشان می‌دهد بیشترین جابجایی مربوط به متغیر «افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر» است که از ربع سوم به ربع دوم یعنی ناحیه مربوط به متغیرهای محیطی که تأثیرگذاری بیشتری روی سایر عوامل دارند، منتقل شده است که ناشی از تأثیرگذاری بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر در مدیریت

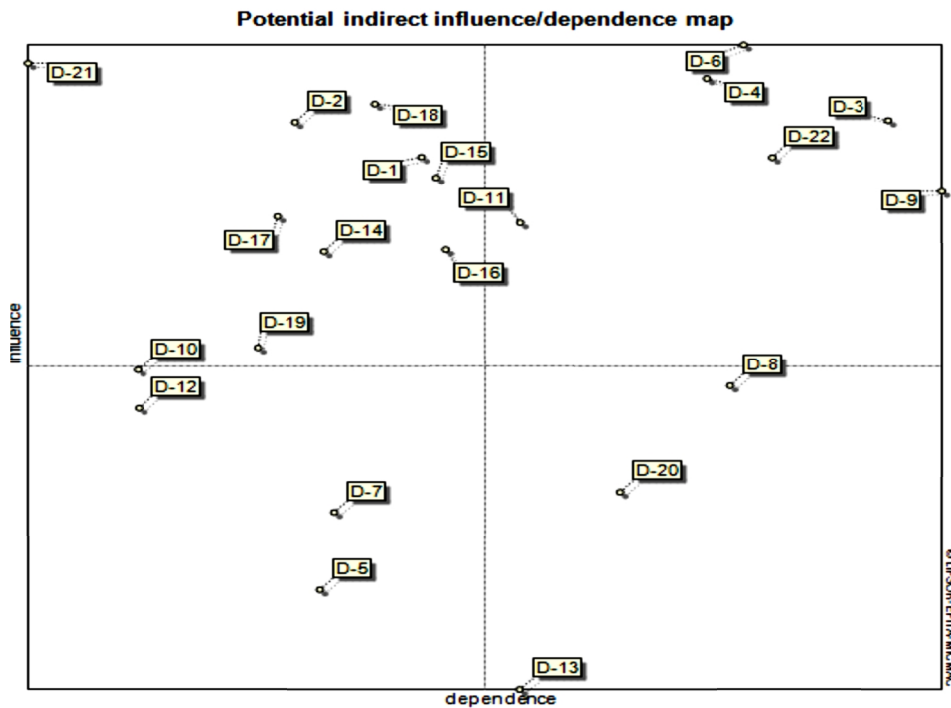
اجتماعی» و «بحران آب» در ربع چهارم قرار گرفتند که جزء متغیرهای وابسته سیستم محسوب می‌شوند بدین معنا که میزان نقش آفرینی این عوامل در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور بیشتر به سایر عوامل بستگی دارد. ضعف و قوت ارتباطات تعریف شده در شکل (۴) و همچنین تناسب مجموع سطرها و ستون‌های ارائه شده در جدول (۵) تقسیم‌بندی نقشه راهنمای تحلیل اثرات مستقیم را تکمیل و تأیید می‌کنند.

### تحلیل نوع دوم: تحلیل ماتریس اثرات غیرمستقیم:

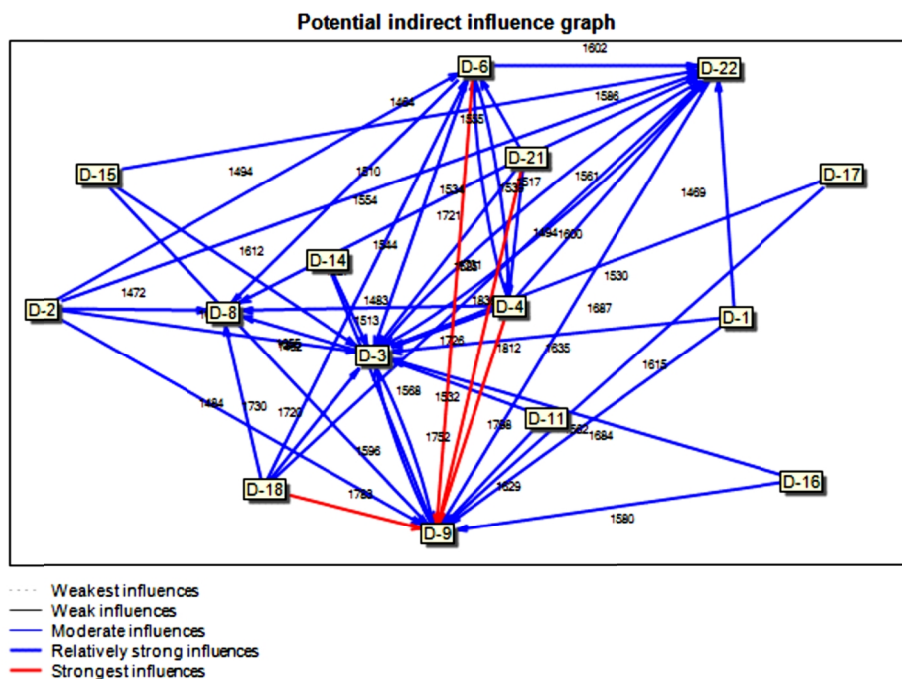
جدول (۹) ماتریس اثرات غیرمستقیم که مطابق با ماتریس تأثیرات مستقیم است و از تکرارهای متوالی آن به منظور شناسایی متغیرهای پنهان

بازار جهانی است. البته جابجایی دیگری نیز در موقعیت برخی از متغیرها در این مرحله انجام شده است که واگوی جزئیات آنها نیاز به توضیحات مفصل تری دارد.

زیرساخت‌های حیاتی از قبیل کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کاهش آلودگی، افزایش پایداری سیستم‌ها، تنوع در منابع انرژی، تقویت امنیت انرژی و کاهش خطرات ناشی از نوسانات



شکل ۶ - نقشه راهنمای تحلیل اثرات غیرمستقیم



شکل ۷ - نمودار اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر در ماتریس اثرات مستقیم

## ۶- نتیجه گیری

با وجود نقش اساسی و حیاتی زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان هسته مرکزی نظام حکمرانی کشور، به نظر می‌رسد این حوزه در محیط‌های علمی و پژوهشی کشور، از کم‌توجهی نسبی رنج برده و با فقدان قابل توجه ادبیات تخصصی و پژوهشی مواجه است. با این حال امید است این پژوهش توانسته باشد گامی روبه‌جلو در زمینه توسعه ادبیات پژوهشی زیرساخت‌های حیاتی کشور برداشته و منجر به بهبود وضعیت مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور شود. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل ساختاری کلان‌روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران با رویکرد آینده پژوهی شکل گرفت.

در مطالعات آینده‌پژوهی علاوه بر شناسایی عوامل کلیدی شکل‌دهنده به آینده، شناسایی روابط بین عوامل کلیدی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. چرا که در عالم واقع این عوامل و متغیرها بر یکدیگر اثرگذار بوده و هیچ‌کدام به صورت مستقل قابل تعریف نیستند. در نتیجه به ازای هر مسئله، با شبکه‌ای از مسائل و تأثیرات متقابل مستقیم و غیرمستقیم روبرو هستیم. مجموعه این اثرات متقابل از طریق روش تحلیل ساختاری قابل شناسایی و تحلیل می‌باشند. این نگاه متقابل و شبکه‌ای در این پژوهش نیز اتخاذ و تأثیر و تأثرات کلان‌روندهای شناسایی شده در حوزه مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور مورد تحلیل قرار گرفت.

در گام اولیه به‌منظور شناسایی عوامل کلیدی موضوع ضمن انجام مطالعات اسنادی، با استفاده از دانش ضمنی کارشناسان و صاحب‌نظران موضوع، تعداد ۲۲ متغیر شناسایی شد و سپس روابط متقابل این ۲۲ متغیر از طریق پنل‌های خبرگی مشخص تا ماتریس اثرات متقابل ترسیم شود.

در گام بعدی با تحلیل ساختاری، امکان تحلیل یکپارچه متغیرهای سیستم فراهم شد و بدین ترتیب نقشه‌های اثرات متقابل مستقیم و متقابل غیرمستقیم ترسیم و توصیف شد و با توجه به مختصات هر متغیر در نواحی چهارگانه نقشه اثرات، میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنها به چهار دسته تقسیم شدند. جدول (۱۰) خلاصه‌ای از تحلیل ساختاری اثرات متقابل مستقیم و غیرمستقیم کلان‌روندهای شناسایی شده در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور را نشان می‌دهد.

با تحلیل و جمع‌بندی جدول بالا می‌توان نتیجه گرفت؛ مهم‌ترین کلان‌روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور که دارای بیشترین تأثیرگذاری بر روی سایر متغیرها و بیشترین اثرپذیری از آنها را دارند عبارت‌اند از: «اهمیت فراینده موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها»، «تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای»، «فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی»، «ناترازی عرضه و تقاضا»، «تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار» و «تنظیم‌گری و مشارکت بخش خصوصی».

طبیعت این متغیرها با عدم پایداری آمیخته است که عنوان «تقویت‌کننده<sup>۱</sup>» نیز به آنها اطلاق می‌شود، زیرا هر عمل و تغییری بر روی آنها، واکنش و تغییری بر دیگر متغیرها را به دنبال دارد. این‌گونه نتایج واکنش‌ها یک اثر بومرنگی را به همراه دارد که در نهایت باعث «تشدید» یا «میرایی» اثر و علامت اولیه می‌شوند. نکته دیگر اینکه، این متغیرها ظرفیت بسیار بالایی برای تبدیل شدن به «عوامل کلیدی» سیستم را دارا می‌باشند.

از سوی دیگر متغیرهایی وجود دارند که اثرگذاری بسیار بالایی بر سیستم و سایر متغیرها دارند ولی تأثیرپذیری چندانی از متغیرهای درون

<sup>1</sup> Relay

جدول ۱۰ - مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس اثرات غیرمستقیم

N°	VARIABLE	TOTAL NUMBER OF ROWS	TOTAL NUMBER OF COLUMNS
1	D1	24089	20928
2	D2	24719	17717
3	D3	24749	32780
4	D4	25506	28164
5	D5	16258	18349
6	D6	26112	29101
7	D7	17664	18714
8	D8	19951	28762
9	D9	23485	34128
10	D10	20239	13718
11	D11	22899	23426
12	D12	19543	13746
13	D13	14463	23407
14	D14	22376	18452
15	D15	23715	21308
16	D16	22414	21551
17	D17	23012	17268
18	D18	25048	19743
19	D19	20641	16772
20	D20	18029	25964
21	D21	25782	10952
22	D22	24082	29826
	Totals	613	613

سیستم ندارند. مهم‌ترین متغیر این دسته، «ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز» است. «شکل‌گیری نظم نوین جهانی»، «تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی»، «افزایش نگرانی‌های بهداشتی»، «هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور»، «افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور»، «افزایش وابستگی به فناوری»، «مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی» و «افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر» نیز بااهمیت کمی پایین‌تر، سایر متغیرهای این دسته می‌باشند. این متغیرها که به‌عنوان متغیرهای «تعیین‌کننده»<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند، وضعیت پایداری سیستم تا حد زیادی وابسته به آن‌هاست و بحرانی‌ترین مؤلفه‌های سیستم می‌باشند، زیرا تغییرات آتی

<sup>1</sup> Determinant

سیستم متأثر از آنها بوده و میزان کنترل بر این متغیرها از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر، این متغیرها به‌عنوان متغیرهای ورودی، محیطی یا بافتی سیستم محسوب شده و به راحتی قابل کنترل نیستند. براین اساس پیشران اصلی سیستم، ویژگی «ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز» است که اثرگذاری آن بر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور از وزن و جایگاه ممتازی برخوردار است و سایر متغیرهای این ناحیه را می‌توان به‌عنوان پیشران‌های مهم سیستم تعریف نمود.

دسته سوم متغیرها نسبت به دو گروه قبلی از اثرگذاری و اثرپذیری کمتری برخوردارند که عبارت‌اند از: «ظهور نسل‌های جدید تروریسم»، «جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین»، «ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال» و «رشد شهرنشینی (به‌سوی یک جهان شهری‌تر)». از این



جدول ۱۱ - جمع‌بندی وضعیت کلان‌روندهای شناسایی‌شده در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور

نواحی نقشه	اثرات متقابل مستقیم	اثرات متقابل غیرمستقیم
ناحیه بالا-راست ربع اول اثرگذاری زیاد اثرپذیری زیاد	۱- اهمیت فراینده موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها ۲- تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای ۳- فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی ۴- ناترازی عرضه و تقاضا ۵- تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار ۶- تنظیم‌گری و مشارکت بخش خصوصی	۱- اهمیت فراینده موقعیت ژئوپلیتیکی کشورها ۲- تغییرات در نظام‌های حکمرانی جهانی و همکاری‌های منطقه‌ای ۳- فرسودگی زیرساخت‌های حیاتی ۴- ناترازی عرضه و تقاضا ۵- تغییرات جمعیت شناختی و نیروی کار ۶- تنظیم‌گری و مشارکت بخش خصوصی
ناحیه بالا-چپ ربع دوم اثرگذاری زیاد اثرپذیری کم	۱- شکل‌گیری نظم نوین جهانی ۲- تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی ۳- افزایش نگرانی‌های بهداشتی ۴- هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور ۵- افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور ۶- افزایش وابستگی به فناوری ۷- مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی ۸- ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز ۹- افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر	۱- شکل‌گیری نظم نوین جهانی ۲- تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی ۳- افزایش نگرانی‌های بهداشتی ۴- هوشمندسازی زیرساخت‌ها با همگرایی فناوری‌های نوظهور ۵- افزایش تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های فناوری محور ۶- افزایش وابستگی به فناوری ۷- مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی ۸- ساختاردهی و تدوین چشم‌انداز
ناحیه پایین-چپ ربع سوم اثرگذاری کم اثرپذیری کم	۱- ظهور نسل‌های جدید تروریسم ۲- جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین ۳- ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال ۴- رشد شهرنشینی (به‌سوی یک جهان شهری‌تر) ۵- افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر	۱- ظهور نسل‌های جدید تروریسم ۲- جهانی‌شدن وابستگی زنجیره‌های تأمین ۳- ظهور و توسعه اقتصاد دیجیتال ۴- رشد شهرنشینی (به‌سوی یک جهان شهری‌تر) ۵- افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر
ناحیه پایین-راست ربع چهارم اثرگذاری کم اثرپذیری زیاد	۱- تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت ۲- تعمیق شکاف جهانی و نابرابری‌های اجتماعی ۳- بحران آب	۱- تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت ۲- تعمیق شکاف جهانی و نابرابری‌های اجتماعی ۳- بحران آب

۱۳۸

شماره ۳۰

تایستان ۱۴۰۴  
فصلنامه علمی  
و پژوهشی

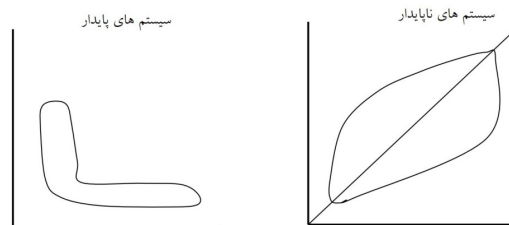


تحلیل ساختاری کلان روندهای مؤثر در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی  
چ. ا. ایران / سعید مددی، حسین ناظری، ذکریا ناظم‌پور

بلکه در چارچوب مطالعاتی تعریف‌شده میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنها نسبت به سایر متغیرها کمتر است.

متغیرها به عنوان متغیرهای خودمختار نیز یاد می‌شود و میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنها از سیستم تقریباً برابر است ولی با این وجود نمی‌توان میزان نقش‌آفرینی آنها در سیستم را نادیده گرفت

دسته چهارم از متغیرهای قابل توجه، متغیرهایی هستند که اثرگذاری کمتری بر سیستم داشته ولی اثرپذیری بالایی از آن دارند. متغیرهای «تعمیق شکاف تأمین مالی زیرساخت»، «تعمیق شکاف جهانی و نابرابریهای اجتماعی» و «بحران آب» در این ناحیه قرار گرفتند. این متغیرها که به عنوان متغیرهای «وابسته» یا «نتیجه» شناخته می‌شوند نسبت به تغییر و تکامل متغیرهای تأثیرگذار و دوجویی بسیار حساس بوده و متغیرهای خروجی سیستم حساب می‌شوند. در پایان ذکر این نکته ضروری است که بر اساس پویایی سیستم‌ها، مطابق شکل (۸) هنگامی که پراکندگی عمده متغیرهای موجود در گراف تأثیرات، پیرامون دو محور اصلی باشند، سیستم پایدار و درجه تعیین آن بالاست، اما هنگامی که متغیرها، پیرامون خط قمری نقشه سامان گرفته باشند، سیستم تا حدودی ناپایدار است.



شکل ۸ - الگوی پراکنش متغیرها در سیستم‌های پایدار و ناپایدار

براین اساس با توجه به الگوی کلی به دست آمده از پراکنش متغیرها در ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم این پژوهش، سیستم مورد مطالعه (سیستم مدیریت زیرساخت‌های حیاتی کشور) در بازه زمانی تعریف شده پژوهش (۵ سال آتی) به سمت ناپایداری میل می‌کند و نیاز است با تمرکز بر متغیرهای شناسایی شده، با انجام اقدامات برنامه‌ریزی پیشگیرانه، طراحی سناریوها و تنظیم پارامترهای کلیدی، سیستم به سمت پایداری هدایت شود و در نهایت، با اجرای

مکانیسم‌های کنترلی و بررسی تعاملات خارجی نیز به پایداری سیستم کمک نمود.

## ۷- منابع

۱- حسینعلی بیکی، غلامرضا؛ اکبرپور نیک قلب رشتی، عباس؛ حسینی، سید عظیم و عباسیان جهرمی، حمیدرضا، (۱۴۰۱)، ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین کننده میزان حیاتی بودن و اهمیت زیرساخت‌ها به روش بهترین- بدترین (BWM)، جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۱(۴۲)، ۱۰۶-۱۲۱.

۲- میریوسفی، سید محسن؛ غفارپور، رضا، (۱۳۹۹)، راهبردهای نوین حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، مجله پدافند غیرعامل، ۳(۴۳)، ۱-۱۴.

۳- پورشاسب، عبدالعلی؛ نظری‌نژاد، احمدعلی، (۱۳۹۹)، تدابیر و راهکارهای پدافند غیرعامل در حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی ج.ا.ایران، فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک، ۸۲، ۲۸۹-۳۱۲.

۴- عراقی‌زاده، مجتبی؛ کاملی، بهروز، (۱۴۰۱)، ترسیم قلمرو خوشه‌بندی پژوهش‌های بین‌المللی در حوزه حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی بر اساس تحلیل هم‌واژگانی مقالات نمایه شده در پایگاه Web of Science، مدیریت بحران، ۱۱(۲)، ۱-۱۸.

۵- زبردست، اسفندیار؛ قشلاق‌پور، سهیل، (۱۴۰۲)، ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حمل‌ونقل در کلان‌شهر تهران مطالعه موردی: محلات نواحی دو (منطقه ۹)، چهار (منطقه ۶) و پنج (منطقه ۱)، نشریه مدیریت بحران، ۱۲(۲)، ۱۹۱-۲۱۵.

6. Brian R. McDonald, 2017, "Critical Infrastructure Protection: A Comprehensive Review", Computers & Security.

۷- نظام عملیاتی پدافند سایبری کشور، (۱۴۰۰)، سازمان پدافند غیرعامل کشور، قرارگاه پدافند سایبری.

۸- سند راهبردی پدافند غیرعامل ج.ا.ایران، (۱۳۹۱)، سازمان پدافند غیرعامل کشور، قرارگاه پدافند سایبری.

۹- وندبل، (۱۳۹۸)، مبانی آینده‌پژوهی (تاریخچه، اهداف و دانش)، مترجمین: تقوی، مصطفی؛ محقق، محسن، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی، مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.

10. Kishita Y. (2021), Foresight and Road mapping Methodology: Trends and Outlook. Foresight and STI Governance, 5(2), 5-11. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.2.5.11.

۱۱- قدیری، روح‌الله؛ ناظمی، امیر؛ شمعی، علی، (۱۳۹۴)، آینده‌نگاری فناوری هوافضا در ایران ۱۴۰۴، مرکز تحقیقات

سیاست علمی کشور.

۱۲- منزوی، مسعود، نظری‌زاده، فرهاد، (۱۳۸۹)، روندهای استراتژیک جهانی مؤثر بر دفاع و امنیت در افق زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۶، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی، مؤسسه آموزش و تحقیقات صنایع دفاعی، تهران.

13. GFAR (The Global Forum on Agricultural Research), (2014), A Glossary of Terms commonly used in Futures Studies Full Version, Rome.

۱۴- پدram، عبدالرحیم؛ احمدیان، مهدی، (۱۳۹۴)، آموزه‌ها و آموزه‌های آینده‌پژوهی، موسسه افق آینده‌پژوهی راهبردی.

۱۵- سالنامه امنیت ملی شماره ۱۴، (۱۴۰۲)، مرکز مطالعات راهبردی.

۱۶- شمالی، محمد؛ ملاعلیزاده زوارده‌هی، صابر؛ محمودی‌راد، علی؛ قانع، سعید، (۱۴۰۱)، ارزیابی نقش مضامین زیرساخت‌های حیاتی صنعت در تقویت قابلیت‌های راهبردهای توسعه پایدار صنعت نفت و گاز، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۵۱، ۳۳-۵۳.

۱۷- عطایی، محمدحسن؛ عبدی، مونا؛ اسدی، فاطمه؛ نجفی، مرتضی، (۱۴۰۲)، ارزیابی تهدیدات علیه دارایی‌های کلیدی حوزه انرژی با رویکرد پدافند غیرعامل، نشریه مدیریت بحران، ۱۲، ۸۴-۱۰۰.

18. Frenco, Marie Lam; Davisson, Katherine, (2020), Infrastructure Future, Global Infrastructure Hub: <https://www.gihub.org/futures>.

19. Michael, Harrington, (2023), Three global megatrends, Institutional Investing in Infrastructure: Three Global Megatrends: An Examination of What's Driving Sustainable Infrastructure: <https://www.act.is/media-centre>.

20. CIDOB, (2022), The World In 2023: Ten Issues That Will Shape the International Agenda, center in international relations based in Barcelona.

21-Steve Kappenthuler, Stefan Seeger, (2019), Addressing global environmental megatrends by decoupling the causal chain through floating infrastructure, Futures, Volume 113, 102420, ISSN 0016-3287: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.04.007>.

۲۲- کریمی باصری، صادق؛ شهاب‌زاده، مرجان، (۱۴۰۱)، شناسایی پیشران‌های مؤثر بر مدیریت بحران در بافت مرکزی شهر شیراز با رویکرد پدافند غیرعامل، نشریه مدیریت بحران (ویژه‌نامه پدافند)، ۱۲۷-۱۴۸.

۲۳- مولایی، محمد مهدی؛ طالبیان، حامد، (۱۳۹۴)، آینده‌پژوهی مسائل ایران با روش تحلیل ساختاری، فصلنامه مجلس و راهبرد، ۲۳، شماره ۲۳ (۸۶).

۲۴- ربانی، طاها، (۱۳۹۱)، روش تحلیل ساختاری، ابزاری برای شناخت و تحلیل متغیرهای مؤثر بر آینده موضوعات شهری، نخستین همایش ملی آینده‌پژوهی، ۲۶۹-۲۵۹.

25. Asan, seyda serdar, Umut asan, (2007), Qualitative cross-impact analysis with time consideration, Technological forecasting and social change, vol74.

26. Godet, M. and P. Durance (2011). Strategic Foresight for Corporate and Regional Development, Dunod and Unesco.

27. Johnson, G., Scholes, K., & Whittington, R. (2008). Exploring Corporate Strategy: Text and Cases (8th ed.). Pearson Education.

28. Rizzi, Andreea, 2023, How the changing balance of power is shaking up the world, elpais: <https://english.elpais.com/international/2023-11-13>.

29. Brussels, A.,(2023), The impact of demographic change – in a changing environment, EUROPEAN COMMISSION.

30- UNIC: United Nations Information Centre, (2020), Some 68 per cent of world's population will be city dwellers by 2050.

31. Tony, Payan; Pamela, Lizette Cruz, (2022), "America's Graying Future: Shifting Demographics and Implications for Immigration Reform", Houston: Rice University's Baker Institute for Public Policy.

32. KPMG global tech report, (2023), global tech report 2023 Secure value by navigating uncertainty with confidence, KPMG International entities.

33. UNPress, (2023), Highlighting Rise in Water Scarcity, Climate-Induced Disasters, Speakers at Global Conference Call for Transformational Change to Better Manage Aqua Resources, WATER CONFERENCE, 3RD & 4TH MEETINGS (AM & PM).

34. Claire, Klobucista; Kali Robinson, 2023, Water Stress: A Global Problem That's Getting Worse, Council Foreign Relations.

۳۵- کیان‌پور، رامین؛ طباطبایی، سید کمال‌الدین؛ هراتی، نسرین، (۱۳۹۴)، آینده‌پژوهی: اصول، مبانی و روش‌ها، فصلنامه علمی-پژوهشی آینده‌پژوهی، سال دوم، شماره ۶، ۳۱-۵۰.