Town & Country Planning *https://jtcp.ut.ac.ir/*
Vol. 14, No. 2, Autumn & Winter 2022-2023 *Print ISSN: 2008-7047*
Manuscript Type: Research Paper *Online ISSN: 2423-6268*
DOI: 10.22059/jtcp.2022.347891.670345

Developing Scenarios of Geographic Interaction in Critical Infrastructure During Urban Hazards in Ahvaz

Mostafa Mohammadi Deh Cheshme[1*], Mohammad Ali Ferozi[2], Alireza Parvizian[3]

1. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. PhD Student in Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(Received: August 31, 2022; Accepted: October 10, 2022)

Abstract

In recent years, the infrastructure systems have been mostly failed due to the increase in natural or manmade disasters as well as the internal and external dependencies among system components. The mutual infrastructure dependencies might cause more vulnerability and bring about cascading failures. The main objective of this study was to develop scenarios of geographic interaction in critical infrastructure during urban hazards in Ahvaz. The study was developmental-applied in terms of purpose, while in terms of methodology, it was descriptive-analytical done based on field study and document analysis. The study indices were extracted and related via combining the results of expert opinion and existing records. To develop scenarios, after identifying the variables, the key factors affecting each topic were specified, and then various conditions were defined for each variable. The identification of driving forces in Ahvaz infrastructures interaction was done using models such as “cross-impact analysis” using MICMAC software. In order to identify, analyze, and adopt selected scenarios, cross-impact balance analysis was run in ScenarioWizard software. The inspection of scenario screen in ScenarioWizard software showed that from among 80 existing settings of critical infrastructure spatial interaction drivers, 26 cases (32.5 percent) were in statistic form and 25 cases (3.125 percent) in critical conditions.

Keywords

interaction, geographic interaction scenarios, critical city infrastructure, Ahvaz metropolis.

* **Corresponding Author, Email:** m.mohammadi@scu.ac.ir

آمایش سرزمین
دورهٔ ۱۴، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
صفحات ۵۴۲-۵۲۳ (پژوهشی)

Print ISSN: 2008-7047
Online ISSN: 2423-6268
http://jtcp.ut.ac.ir

تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی در زیرساخت‌های حیاتی حین مخاطرات شهری در اهواز

مصطفی محمدی ده‌چشمه[1*]، محمدعلی فیروزی[2]، علی‌رضا پرویزیان[3]

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹ ـ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹)

چکیده

در سال‌های اخیر، سیستم‌های زیرساختی، به دلیل افزایش بلایای طبیعی یا انسان‌ساز و به دلیل وابستگی‌های داخلی و خارجی بین اجزای سیستم، غالباً دچار اختلال شده‌اند. وابستگی‌های متقابل زیرساختی ممکن است آسیب‌پذیری بیشتری ایجاد کند و باعث خرابی‌های آبشاری شود. هدف کلی پژوهش حاضر تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی زیرساخت‌های حیاتی حین مخاطرات شهری در اهواز بود. این پژوهش به لحاظ هدف توسعه‌ای ـ کاربردی و از نظر روش‌شناسی توصیفی ـ تحلیلی مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های میدانی ـ اسنادی است. شاخص‌های پژوهش بر اساس تلفیق نتایج آرای خبرگان و سوابق موجود استخراج و ارتباط‌سنجی شد. برای سناریونگاری بعد از شناسایی متغیرها، ابتدا عوامل کلیدی مؤثر بر موضوع مشخص و سپس برای هر یک از متغیرها وضعیت‌های مختلفی تعریف شد. شناسایی نیروهای پیشران و مؤثر در اندرکنش زیرساخت‌های شهر اهواز با استفاده از مدل‌هایی نظیر «تحلیل اثرهای متقاطع» و نرم‌افزار «میک‌مک» انجام شد. جهت شناسایی و تحلیل و گزینش سناریوهای منتخب از تحلیل بالانس اثرهای متقابل در نرم‌افزار سناریوویزارد استفاده شد. بررسی صفحهٔ سناریو در نرم‌افزار سناریوویزارد نیز نشان می‌دهد از مجموع ۸۰ وضعیت موجود پیشران‌های اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی تعداد ۲۶ حالت (۳۲/۵ درصد) وضعیت مطلوب، تعداد ۲۹ حالت (۳۶/۲۵ درصد) وضعیت ایستا، تعداد ۲۵ حالت (۳۱/۲۵ درصد) وضعیت بحرانی دارند.

کلیدواژگان

اندرکنش، زیرساخت‌های حیاتی شهر، سناریوهای اندرکنش جغرافیایی، کلان‌شهر اهواز.

---

*رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: m.mohammadi@scu.ac.ir

مقدمه و بیان مسئله

زیرساخت‌های حیاتی کارکردها و فعالیت‌های مختلف انسانی را بر عهده دارند و نقش اساسی در جوامع ایفا می‌کنند. از طرفی سیستم‌های زیرساختی مجزا نیستند و به یک‌دیگر وابسته‌اند (Yang et al. 2022: 606). وابستگی‌های متقابل بین سیستم زیرساخت‌های حیاتی شهری[1] به طور قابل توجهی بر قابلیت اطمینان و عملکرد آن‌ها و تاب‌آوری جوامع مدرن تأثیر می‌گذارد (Magoua et al. 2022: 102). از دههٔ آخر قرن بیستم، تعداد زیادی از کشورها، مثل ایالات متحدهٔ امریکا و استرالیا، شروع به بررسی تهدیدات زیرساخت‌های خود کردند (Enrico et al. 2011: 140). طی ده سال گذشته، حدود هفتصدهزار نفر جان خود را از دست داده‌اند، بیش از یک‌میلیون و چهارصدهزار نفر مجروح شده‌اند، و بیست و سه میلیون نفر به دلیل بلایای طبیعی بی‌خانمان شده‌اند (Nuha et al. 2018: 576). در سال‌های اخیر، سیستم‌های زیرساختی به دلیل افزایش بلایای طبیعی یا انسان‌ساز و به دلیل وابستگی‌های داخلی و خارجی بین اجزای سیستم غالباً دچار اختلال شده‌اند (Yang et al. 2022: 606). زیرساخت‌های حیاتی از آنجا که پیچیده و وابسته به یک‌دیگر و همه‌جا هستند نسبت به اختلالات حساس‌اند. حتی یک اختلال جزئی می‌تواند زنجیره‌ای از رویدادها را ایجاد کند و باعث کاهش عملکرد سیستم‌های زیرساختی شود که عواقب قابل توجهی را به دنبال دارد (Chen et al. 2019: 1). ارتباط متقابل بین سیستم‌های زیرساخت حیاتی نشان می‌دهد آسیب به یک سیستم واحد می‌تواند فراتر از محدودهٔ آن باشد (Yang et al. 2022: 606)؛ به نحوی که در پی یک فاجعه وابستگی‌های متقابل زیرساختی ممکن است آسیب‌پذیری بیشتری ایجاد کند و باعث خرابی‌های آبشاری شود (Sun et al. 2022: 21). شهر اهواز به دلیل موقعیت ژئواستراتژیک و بافت اجتماعی و فرهنگی حساس با سوانح و چالش‌هایی روبه‌روست که می‌توانند خسارات و اختلالاتی را در زیرساخت حیاتی شهر اهواز ایجاد کنند (امان‌پور و پرویزیان ۱۳۹۹: ۳۸۷). در بهمن‌ماه ۱۳۹٦ تجمع ذرات گردوغبار ناشی از طوفان ریزگردها بر سیستم های توزیع و فوق توزیع برق ورودی اهواز و بارش نم‌نم باران موجب اختلال در ایستگاه‌ها و پست‌های برق شد. اهواز در خاموشی فرورفت و با قطع برق پمپ‌های آب این مناطق نیز از کار افتادند. قطعی گستردهٔ برق در اهواز منجر به قطع آب و

1. CIS

به دنبال آن قطعی و ایجاد اختلال در شبکه های ارتباطی تلفن همراه شد. دوازده شهرستان استان خوزستان به مدت یک ماه با چالش روبه‌رو بودند (Mohammadi Dehcheshmeh & Ghaedi 2020: 7). به دلیل وجود شبکه‌ای از زیرساخت‌های حیاتی و پیوستگی زیرساختی ناشی از آن‌ها، شهر اهواز در معرض خطرات و آسیب های ناشی از تأثیرات وابستگی‌های زیرساختی است. بنابراین، درک وابستگی‌های متقابل و ارزیابی تأثیر آن‌ها برای کاهش پیامدهای نامطلوب و افزایش تاب‌آوری در برابر بلایا در بلندمدت ضروری است.

اهداف و سؤالات پژوهش

هدف اصلی این پژوهش تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی در زیرساخت‌های حیاتی حین مخاطرات شهری در اهواز است و اهداف فرعی شامل شناسایی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز، برآورد میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پیشران‌های کلیدی در تدوین سناریوها، و به‌کارگیری توانمندی‌های نرم‌افزار میک‌مک و نرم‌افزار سناریوویزارد در رابطه با مخاطرات شهری است. پرسش اصلی پژوهش حاضر بر این اساس تعیین شد که سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه ناشی از اندرکنش مکانی زیرساخت‌های شهری اهواز کدام‌اند.

پیشینهٔ نظری پژوهش

زیرساخت‌های حیاتی و ویژگی‌های آن

اگرچه «زیرساخت‌های حیاتی» به طور کلی واژه‌ای جدید در نظر گرفته می‌شود که به تحولات ایالات متحده در اواسط دههٔ ۱۹۹۰ بازمی‌گردد، از ۱۱ سپتامبر اسناد بی‌شماری توسط سازمان‌های بین‌المللی و دولت‌ها و مؤسسات تحقیقاتی در مورد حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی تهیه شده است (Aradau. 2010: 492). زیرساخت حیاتی به معنای دارایی‌هایی است که برای حفظ عملکردهای حیاتی (اجتماعی، بهداشت، ایمنی، امنیت، رفاه) مردم یک کشور ضروری است و اختلال یا تخریب آن می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکردها بگذارد (Singh et al. 2014: 72). زیرساخت‌های حیاتی شهر[1] سیستم‌های ساختهٔ دست بشر در مقیاس بزرگ هستند که برای تولید

1. resilience adaptive cycle

و توزیع کالاهای ضروری (انرژی، آب، داده‌ها) و خدمات (حمل‌ونقل، بانک‌داری، مراقبت‌های بهداشتی) به طور کامل به یک‌دیگر وابسته‌اند (Cantelmi et al. 2021: 341). چنین زیرساخت‌هایی عبارت‌اند از برق، مخابرات، نفت و گاز، آب، و شبکهٔ حمل‌ونقل که پیش‌بینی کارکرد این زیرساخت‌ها علاوه بر پیچیدگی درونی خود، به دلیل آسیب پذیری ناشی از وابستگی متقابل، سخت‌تر است (Zimmerman et al. 2016: 52). امروزه به دلیل وقوع مکرر بلایای طبیعی یا رویدادهای فاجعه‌آمیز مرتبط با فعالیت‌های انسانی آگاهی جهانی در مورد اهمیت استراتژیک زیرساخت‌های حیاتی به طور فزاینده در محیط‌های دانشگاهی و سیاست‌گذاری افزایش یافته است (Cantelmi et al. 2021: 341).

اندرکنش جغرافیایی و پیامدهای شهری ناشی از آن در زیرساخت‌های حیاتی

برهم‌کنش یا اندرکنش[1] به معنی تأثیر گذاشتن بر یک‌دیگر و با یک‌دیگر واکنش دادن است. یک اندرکنش متقابل جغرافیایی زمانی اتفاق می‌افتد که عناصر زیرساخت‌های متعدد در مجاورت مکانی نزدیک باشند. با توجه به این نزدیکی، رویدادهایی مانند انفجار یا آتش‌سوزی می‌توانند اختلالات یا تغییرات مرتبطی را در این زیرساخت‌های جغرافیایی وابسته به هم ایجاد کنند (Robert & Morabito 2010: 19). از آنجا که دارایی‌های زیرساختی تحت مالکیت یا مدیریت بخش‌های دولتی و خصوصی هستند، حفاظت از این منابع زیرساختی دیگر موضوعی نیست که فقط مربوط به دولت ها باشد. سناریویی را تصور کنید که در آن شبکهٔ برق و همچنین منبع تغذیهٔ پشتیبان در یک منطقه به دلیل یک بلای طبیعی یا خراب‌کاری قطع می‌شود. در چنین شرایطی، مخابرات، بانک‌داری، تولید، و غیره همگی فلج می‌شوند و به طور بالقوه پیامدهای اقتصادی و اجتماعی جدّی برای منطقهٔ آسیب‌دیده ایجاد خواهند کرد (Singh et al. 2014: 71). نمونه‌ای از پیامدهای ویرانگر اندرکنش زیرساخت‌های حیاتی در جریان خاموشی شمال شرق امریکای شمالی به‌وضوح نمایان شد که بخش هایی از کانادا و ایالات متحده را در سال ۲۰۰۳ فلج کرد. زمان صرف‌شده برای بازگرداندن سیستم‌های زیرساخت وابسته با قدرت‌های مختلف به حالت‌های اولیه‌شان به طور قابل توجهی متفاوت بود. مثلاً بازسازی زیرساخت برق ۷۲ ساعت کامل طول

1. interaction

کشید (Haggag et al. 2020: 2). در ژوئیهٔ ۲۰۱۲، تعدادی از شبکه‌های برق در هند از کار افتاد و منجر به قطع برق در اکثر ایالت‌های شمالی و شمال شرقی شد. خاموشی و اثر اثرهای فلج‌کنندهٔ آن بر سایر زیرساخت‌های حیاتی زندگیِ تقریباً ششصدمیلیون نفر را تحت تأثیر قرار داد (Singh et al. 2014: 71). چنین خاموشی‌های بزرگی آسیب‌پذیری آبشاری ناشی از وابستگی متقابل سیستم‌های حیاتی جوامع ما را نشان می‌دهد. بر این اساس، نیاز مبرمی به ارزیابی وابستگی متقابل سیستم‌های زیرساختی و مهم تر از آن به حداقل رساندن اثر اثرهای منفی این وابستگی متقابل از طریق اتخاذ فلسفهٔ برنامهٔ تاب‌آوری وجود دارد (Haggag et al. 2020: 2).

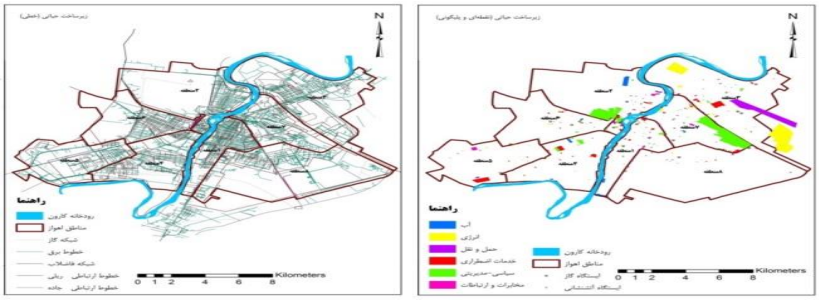
پیشینهٔ تجربی پژوهش

در زمینهٔ اندرکنش زیرساخت‌های حیاتی شهر مطالعات مختلفی صورت گرفته که به تعدادی از آن‌ها در ادامه اشاره می‌شود. وانگ و همکارانش (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی رویکرد یکپارچه برای پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری متروی هاربین چین را با روش توصیفی- تحلیلی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد شاخص‌های ارزیابی آثار متفاوتی بر تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری دارند. شیائو و همکارانش (۲۰۲۲) با هدف ارزیابی تاب‌آوری لرزه‌ای زیرساخت‌های شهری حیاتی وابسته به هم، با روش توصیفی- تحلیلی، عملکرد خطوط حیاتی وابسته به شبکهٔ گاز بلژیک را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای هر شبکه منابع بازیابی و بودجه تأثیرات مختلفی بر تاب آوری دارد. ماگوا و همکارانش (۲۰۲۲) با هدف ارائهٔ چارچوب مبتنی بر معماری سطح بالا برای مدل سازی سیستم‌های زیرساخت حیاتی وابسته به هم از شیوه‌های آزمایش‌شده و داده‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی، که در طول سال‌ها گسترده شده‌اند، استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل زیرساخت‌های حیاتی مبتنی بر معماری سطح بالا می تواند رفتارهای ناهمگن آن ها را به تصویر بکشد. یانگ و همکارانش (۲۰۲۲) با هدف تحلیل وابستگی های متقابل کارکردی در کلان شهر نانت با ترکیب نظریهٔ شبکهٔ کنشگر و رویکرد مدل های عملکردی به این نتیجه رسیدند که کنشگران و کارکرد زیرسیستم‌ها در مناطق شهری برای انواع خطرها حالت‌های خرابی و بهبودی متفاوتی خواهد داشت. نورالهی و همکارانش (۱۳۹۲) با هدف ارزیابی میزان حساسیت دارایی‌ها و پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل اندرکنشی با روش کمّی میزان حساسیت پهنه های شهری را در یک پهنهٔ شهری فرضی بررسی کردند

و به این نتیجه رسیدند که در ایـن محـدوده دارایـی هـای مربـوط بـه زیرسـاخت بـرق از بیشـترین حساسیت برخوردارند. عبدالهی و همکـارانش (۱۳۹۳) بـا هـدف ارائـهٔ مـدل تحلیـل اندرکنشـی در مدیریت ریسک شهری، جهت ارزیابی میزان حساسیت، زیرساخت‌ها و پهنه‌هـای شـهری را بررسـی کردند و به این نتیجه رسیدند که ضوابط مکان‌یـابی و اسـتقرار دارایـی‌هـا بایـد بـا توجـه بـه میـزان حساسیت در پهنه‌های شهری تعیین شود. نکوئی و همکارانش (۱۳۹۵) با هدف تحلیل آسیب‌پـذیری زیرساخت‌ها با استفاده از شبکهٔ گراف با روش کمّی اقدام کردند. نتایج نشان داد بـا اسـتخراج شـبکهٔ مرکزیت و خوشه‌بندی آن می‌توان حساس‌ترین نقاط شبکهٔ مورد نظر را برای کـاهش آسـیب‌پـذیری شناسایی کرد. محمـدی ده‌چشـمه و همکـارانش (۱۳۹۸) بـا هـدف تحلیـل فضـایی شـاخص‌هـای تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل کلان‌شهر اهـواز بـا روش توصـیفی- تحلیلـی میزان تاب‌آوری شریان‌های حمل‌ونقل شهری اهواز را بررسی کردنـد و بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه پیشران تبیین‌کنندهٔ درجهٔ محصوریت شبکه بیشترین حساسیت را برای تبیین تاب‌آوری در حمل‌ونقل شهری اهواز دارد.

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

اهواز، مرکز استان خوزستان، یکی از کلان‌شهرهای ایران است. ایـن شـهر، کـه در بخـش مرکـزی شهرستان اهواز قرار دارد، در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه تـا ۳۱ درجـه و ۳۵ دقیقـهٔ عرض شمالی و ٤۸ درجه و ٤۰ دقیقه تا ٤۸ درجه و ۷۵ دقیقـهٔ طـول شـرقی در بخـش جلگـه ای خوزستان و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده است (امان‌پور و پرویزیان ۱۳۹۹: ۳۸۷).



شکل ۱. دسته‌بندی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

روش و ابزار تحقیق

رویکرد حاکم بر پژوهش حاضر توسعه‌ای ـ کاربردی است که سعی دارد به تدوین سناریوهای اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز بپردازد. در این پژوهش از دو شیوهٔ اسنادی و میدانی برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات استفاده شد. در این تحقیق اجزای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز در ۳۰ متغیر شناسایی و میزان ارتباط میان این متغیرها با حوزهٔ مربوطه توسط کارشناسان خبره تشخیص داده شد. جهت تحلیل داده‌ها از مدل‌هایی نظیر «تحلیل اثرات اثرهای متقاطع» و نرم‌افزار «میک‌مک» و «سناریوویزارد» استفاده شد.

جدول ۱. اجزای زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز (منبع: نگارندگان ۱۴۰۱)

۱. خدمات اضطراری	A1	آتش‌نشانی	۴. انرژی	D1	ایستگاه گاز
	A2	مراکز انتظامی		D2	پمپ بنزین و گاز
	A3	مراکز هلال‌احمر و امداد و نجات		D3	پست برق
	A4	بیمارستان‌ها و مراکز بهداشت		D4	تأسیسات نفتی
	A5	اورژانس و سایر خدمات پزشکی		D5	خطوط برق
	A6	ادارهٔ کل بسیج و پایگاه‌های مقاومت بسیج		D6	شبکهٔ گاز شهری
۲. سیاسی ـ مدیریتی	B1	مراکز نظامی	۵. آب	E1	منبع آب
	B2	مراکز قضایی		E2	آب و فاضلاب
	B3	صداوسیما		E3	تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه
	B4	استانداری، فرمانداری		E4	ایستگاه‌های پمپاژ آب و فاضلاب
	B5	سایر مراکز اداری و دولتی[1]		E5	شبکهٔ فاضلاب
۳. حمل‌ونقل	C1	راه‌آهن	۶. مخابرات و ارتباطات	F1	مخابرات
	C2	فرودگاه و پایانه‌ها		F2	مراکز تلفن
	C3	ادارهٔ راه و ترابری، ادارهٔ اتوبوس و قطار شهری		F3	پست‌بانک و خدمات الکترونیک
	C4	شبکهٔ راه‌های ارتباطی (جاده‌ای و ریلی)		F4	دکل مخابرات

۱. کمیتهٔ امداد امام خمینی، بهزیستی، ستاد مدیریت بحران، شهرداری

تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی در زیرساخت‌های حیاتی

گام اول. شناسایی متغیرهای کلیدی سناریوهای اندرکنش مکانی: در ابتدای ماتریس اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز با ابعاد ۳۰ ×۳۰ تنظیم شد و نتایج آن به تفصیل ذیل به دست آمد. از مجموع ۹۰۰ رابطهٔ تأثیرگذاری و تأثیرپذیری ارزیابی‌شده در جدول ۳ تعداد ۵۸۰ رابطه دارای ارزش ۰ (بدون اثر)، ۱۵۷ رابطه دارای ارزش ۱ (اثرگذاری کم)، ۷۱ رابطه دارای ارزش ۲ (اثرگذاری متوسط)، و ۹۲ رابطه دارای ارزش ۳ (اثرگذاری شدید) است. در این روش، متغیرها دارای دو تأثیر هستند: تأثیر مستقیم[1] (MDI) و تأثیر غیرمستقیم[2] (MII).

جدول ۲. ویژگی‌های ماتریس اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

ابعاد ماتریس	تعداد ۰	تعداد ۱	تعداد ۲	تعداد ۳	تعداد P	جمع
۳۰	۵۸۰	۱۵۷	۷۱	۹۲	۰	۹۰۰

گام دوم. اندرکنش پیشران‌ها: برای بررسی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها، جمع ماتریس محاسبه می‌شود؛ طوری که در ماتریس متقاطع جمع اعداد سطرهای هر متغیر میزان تأثیرگذاری و جمع ستونی هر متغیر نیز میزان تأثیرپذیری آن متغیر را از متغیرهای دیگر نشان می‌دهد.

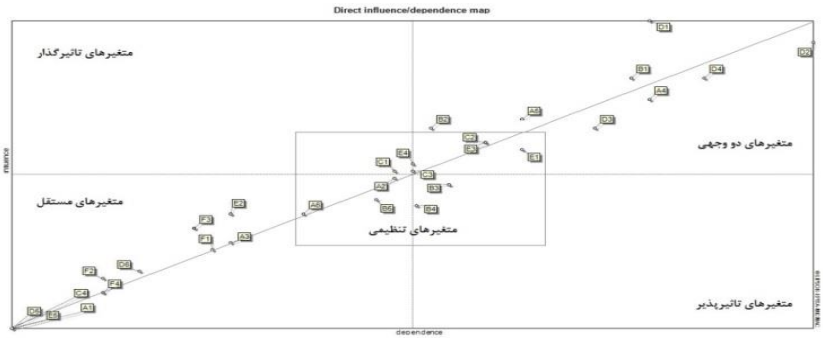
بر اساس نتایج جدول ۳، بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز بیشترین تأثیرگذاری را شاخص D1، D2، و ... به ترتیب با امتیازهای ٤۳، ٤۰، و ... اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین بیشترین تأثیرپذیری را شاخص D2، D4، و ... به ترتیب با امتیازهای ٤٤، ۳۸، و ... اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند.

گام سوم. تحلیل پیشران‌ها با توجه به موقعیت استقرار در پلان اندرکنش: هر یک از متغیرها با توجه به میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در مکان خاصی در نمودار قرار می‌گیرند. موقعیت متغیرها در نمودار بیانگر وضعیت آن‌ها در سیستم و نقش آن‌ها در پویایی و تحولات سیستم در آینده است. شکل ۲ نقشهٔ پراکندگی متغیرها بر اساس تأثیر مستقیم و بر اساس شمارهٔ متغیر را نشان می‌دهد.

1. matrix of direct influences
2. matrix of indirect influences

جدول ۳. اندرکنش پیشران‌ها بر اساس مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس

	مستقیم (MDI)		غیرمستقیم (MII)			مستقیم (MDI)		غیرمستقیم (MII)	
	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری		تأثیرگذاری	تأثیرپذیری	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری
A1	۰	۰	۰	۰	D1	٤٣	۳۵	۲۷۵۱۲	۲۲٤۷۸
A2	۲۱	۲۱	۱۵٤۷۰	۱۵٤۵۱	D2	٤۰	٤٤	۲۵۳۱۸	۲۷۸۳۰
A3	۱۲	۱۲	۸۹۸۸	۹۰٤۲	D3	۲۸	۳۲	۱۸۹۲۵	۲۱۲۹۵
A4	۳۲	۳۵	۲۰۸۲۱	۲۳۵۰۸	D4	۳۵	۳۸	۲۱۸۰۳	۲۲۳۲۹
A5	۲۹	۲۸	۲۰۰۱۷	۱۸۹۲۷	D5	۰	۰	۰	۰
A6	۱٦	۱٦	۱۱۷۸۸	۱۱۸۲٤	D6	۸	۷	٤۷۳۷	٤۳۸٦
B1	۳۵	۳٤	۲۳۵۰۸	۲۳٦٦٤	E1	۲۵	۲۸	۱۵۲۳۰	۱٦۲۷۰
B2	۲۸	۲۳	۱۸۳۵۸	۱٤۹۵٤	E2	۱٦	۱۲	۱۱۳۵٦	۹٤۳۱
B3	۲۰	۲٤	۱۵۰۳۵	۱۷۵٤٦	E3	۲٦	۲٦	۱٦۸٤۳	۱٦۹۵۸
B4	۱۷	۲۲	۱۱۹٦۳	۱٤۹۸۵	E4	۲۳	۲۲	۱۳۹٤۱	۱٤۱۸۳
B5	۱۸	۲۰	۱۳٦٤٤	۱۵٦۷۵	E5	۰	۰	۰	۰
C1	۲۲	۲۱	۱۵۷۸٤	۱۵۰۱۳	F1	۱۱	۱۱	۹۵۲٦	۹۳۰۷
C2	۲٦	۲٦	۱۸٦۰٦	۱۸٤۸۰	F2	۷	۵	۵۰٤۰	۳٤۱۵
C3	۲۲	۲۲	۱٦۹۹۹	۱۷٦۹۵	F3	۱٤	۱۰	۱۰۸٤۲	۷٦۹۵
C4	۰	۰	۰	۰	F4	۵	۵	۳۳۹۷	۳۱۱۰

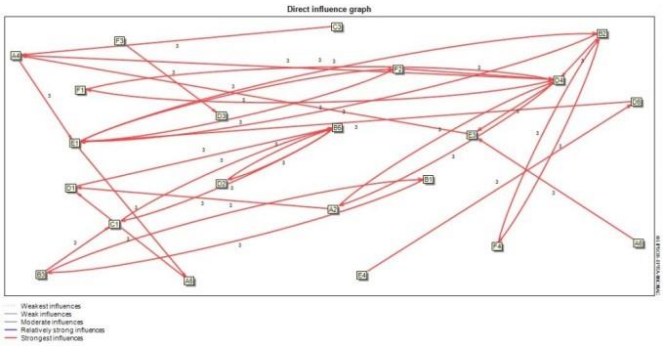


شکل ۲. نقشهٔ پراکندگی متغیرها بر اساس تأثیر مستقیم و بر اساس شمارهٔ متغیر

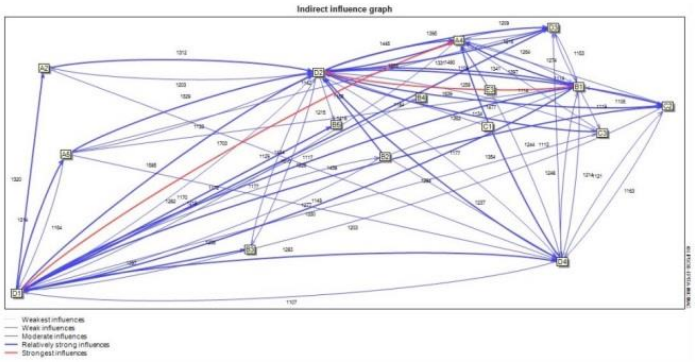
بر اساس نتایج شکل ۲، آثار هر یک از متغیرها بر کل سیستم قابل بررسی است. در بخش متغیرهای دووجهی ۸ متغیر آورده شده است. این متغیرها دارای دو ویژگی مشترک تأثیرگذاری بالا و

تأثیرپذیری بالا هستند که به دو دسته متغیرهای ریسک و هدف تقسیم می‌شوند. متغیرهای ریسک ظرفیت بسیار زیادی برای تبدیل شدن به بازیگران کلیدی سیستم دارند و ٤ متغیر (مراکز نظامی، ایستگاه گاز، اورژانس و سایر خدمات پزشکی، مراکز قضایی) به عنوان متغیر ریسک در این قسمت قرار گرفته است. همچنین ٤ متغیر (پمپ بنزین و گاز، تأسیسات نفتی، بیمارستان ها و مراکز بهداشت، پست برق) در منطقهٔ متغیرهای هدف قرار گرفته است. متغیرهای هدف در واقع نتایج تکاملی سیستم و نمایانگر اهداف ممکن در یک سیستم هستند. در بخش متغیرهای تأثیرگذار، که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز هستند، طبق نتایج هیچ متغیری در این منطقه قرار ندارد. در بخش متغیرهای تأثیرپذیر یا نتیجه، همان‌طور که در نقشهٔ پراکندگی مشاهده می‌شود، هیچ متغیری در این منطقه قرار ندارد. در بخش متغیرهای مستقل ۱۱ متغیر آورده شده است. این متغیرها تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پایینی دارند و عبارت‌اند از آب و فاضلاب، پست بانک و خدمات الکترونیک، مراکز هلال احمر و امداد و نجات، مخابرات، شبکهٔ گاز شهری، آب و فاضلاب، ایستگاه‌های پمپاژ آب و فاضلاب، خطوط برق، آتش‌نشانی، شبکهٔ راه‌های ارتباطی (جاده‌ای و ریلی)، شبکهٔ فاضلاب؛ که در کانون نمودار متغیرهای تنظیمی قرار گرفته‌اند. در واقع، حالت تنظیمی دارند و گاهی به مثابهٔ اهرم ثانویه عمل می‌کنند. این متغیرها قابلیت ارتقا به متغیرهای تأثیرگذار، متغیرهای تعیین‌کننده، یا متغیرهای هدف و ریسک را دارند. ۱۱ متغیر جزء متغیرهای تنظیمی تحقیق هستند. متغیرهای این دسته عبارت‌اند از: مراکز انتظامی، اداره کل بسیج و پایگاه‌های مقاومت بسیج، صداوسیما، استانداری و فرمانداری، سایر مراکز اداری و دولتی، راه‌آهن، فرودگاه و پایانه‌ها، اداره راه و ترابری و اداره اتوبوس و قطار شهری، منبع آب، تصفیه‌خانه و تلمبه خانه، ایستگاه‌های پمپاژ آب و فاضلاب

گام چهارم. تحلیل گراف اثرگذاری در روابط مستقیم و غیرمستقیم متغیرها: گراف اثرگذاری نشان‌دهندهٔ روابط متغیرها و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر یک‌دیگر است. به طور کلی وضعیت روابط متغیرها در گراف اثرگذاری بیانگر این است که متغیرهای «ایستگاه گاز»، «پمپ بنزین و گاز»، «مراکز نظامی»، و «تأسیسات نفتی» منشأ شدیدترین اثرها هستند و نقش خود را در سیستم افزایش می‌دهند. متغیرهای «پست بانک»، «شبکهٔ گاز شهری»، «مراکز تلفن»، و «دکل مخابرات» نیز به‌شدت تحت تأثیر سایر متغیرهای سیستم قرار دارند.



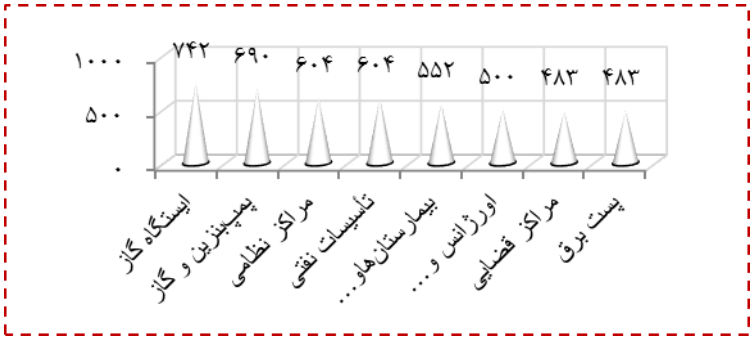
شکل ۳. گراف روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)



شکل ٤. گراف روابط غیرمستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)

به طور کلی وضعیت روابط غیرمستقیم متغیرها در این گراف‌ها بیانگر شدت اثرگذاری و اثرپذیری ۸ عامل کلیدی است که با توجه به امتیازهای کسب‌شده رده‌بندی شده است.

گام پنجم. تعیین عوامل بحرانی و پیشران‌های کلیدی مؤثر بر اندرکنش مکانی: در این مرحله عواملی که میزان اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بالاتر بود و در نقشهٔ پراکندگی متغیرها (شکل ۵) دارای موقعیت متغیر تأثیرگذار و دووجهی بودند عامل بحرانی تعیین شدند. این عوامل برای تعیین منطق سناریو کاربرد اساسی دارند. آن‌ها به منزلهٔ پیشران‌های مهم در اندرکنش مکانی کاربرد دارند. بر پایهٔ شرایط تعیین عوامل بحرانی و پیشران‌ها از بین عوامل سی‌گانهٔ شناسایی‌شدهٔ اولیه هشت عامل (شکل ۵) دارای بیشترین اثرگذاری هستند. بنابراین جزء عوامل بحرانی و پیشران‌ها تلقی می‌شوند. گفتنی است این عوامل در موقعیت متغیر تأثیرگذار و دووجهی هستند.



شکل ۵. پیشران‌های کلیدی مؤثر بر اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز

گام ششم. تدوین سناریوی پیشران‌های کلیدی: در این تحقیق از متغیرهای دووجهی ریسک و هدف به دلیل ظرفیت بسیار بالا برای تبدیل شدن به عوامل کلیدی سیستم به مثابهٔ مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده استفاده شد که مجموع آن‌ها هشت عامل است. بعد از مشخص شدن مهم‌ترین عوامل، وضعیت‌های مختلفی که برای هر یک از عوامل قابل تصور است مشخص شد که طیفی از وضعیت‌های مختلف را در بر می‌گیرد؛ به این ترتیب که برای هر یک از عوامل سه طیف در قالب وضعیت مطلوب یا خوش‌بینانه (رنگ سبز) و وضعیت ایستا یا بینابین (رنگ زرد) بیانگر ادامهٔ روند فعلی و وضع موجود و وضعیت نامطلوب یا بدبینانه (رنگ قرمز) بیانگر نامناسب‌ترین وضعیت پیش روی عوامل کلیدی در نظر گرفته شد.

گام هفتم. گزینش سناریوهای منتخب اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی: بعد از تشکیل فضای ترکیبی برای سناریوها، مسئلهٔ اصلی انتخاب و گزینش تعداد محدودی سناریو از میان آن است. با مشخص شدن وضعیت‌های احتمالی، پرسشنامه‌ای به صورت ماتریس اثرات اثرهای متقابل طراحی شد و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. در این پرسشنامه وضعیت‌ها می‌توانند تأثیرگذاری رواج‌دهندگی یا تأثیرگذاری محدودکننده را نیز نشان دهند و اعداد پرسشنامه از ۳ تا ۳- متغیر است. سؤال محوری این پرسشنامه این است که اگر وضعیت D11 از عامل کلیدی D1 در آیندهٔ شهر اهواز اتفاق بیفتد، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع وضعیت D21 از عامل کلیدی D2 خواهد داشت. محاسبات مربوط به تحلیل اثرات اثرهای متقابل در نرم‌افزار سناریوویزارد امکان استخراج سناریوهای با احتمال قوی و سناریوهای با احتمال ضعیف و سناریوهای با احتمال ناسازگاری را فراهم می‌کند. با

توجه به وسعت ماتریس و ابعاد آن با اندازهٔ ۲٤×۲٤، با کمک نرم‌افزار سناریوویزارد و بر اساس داده‌های پرسشنامه، سناریوهای ترکیبی مشتمل بر همهٔ وضعیت‌های احتمالی تحلیل شد که خروجی این تحلیل استخراج ۲ سناریو با سازگاری قوی (محتمل)، ٦٤ سناریوی با سازگاری ضعیف (ممکن)، ۱۰ سناریوی با سازگاری و انطباق بالا (باورکردنی) است که پیش روی آیندهٔ شهر اهواز ناشی از تأثیرات متقابل قرار دارد. بنابراین، ۲ سناریو با امتیاز بسیار بالا به عنوان سناریوهای قوی (محتمل) در اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز شناخته شد که از میان آن‌ها یک سناریو دارای شرایط مطلوب (سناریوی پیش‌برنده) است و سناریوی دیگر شرایط بحرانی را نشان می‌دهد.

جدول ٤. سناریوی پیشران‌های کلیدی اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی اهواز

عوامل کلیدی	وضعیت	نوع فرض	طیف رنگی	وضعیت‌های احتمالی
ایستگاه گاز	D11	مطلوبیت	سبز	گسترش ایستگاه‌های گاز با رعایت ملاحظات سازگاری
	D12	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود ایستگاه‌های گاز
	D13	بحرانی	قرمز	گسترش ایستگاه‌های گاز بدون رعایت ملاحظات سازگاری
پمپ بنزین و گاز	D21	مطلوبیت	سبز	جانمایی پمپ بنزین و گاز با رعایت ملاحظات سازگاری
	D22	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود پمپ بنزین و گاز
	D23	بحرانی	قرمز	جانمایی پمپ بنزین و گاز بدون رعایت ملاحظات سازگاری
مراکز نظامی	B11	مطلوبیت	سبز	به‌سازی و توسعهٔ مراکز نظامی با توجه به رعایت ملاحظات پدافند غیرعامل
	B12	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود مراکز نظامی
	B13	بحرانی	قرمز	به‌سازی و توسعهٔ مراکز نظامی با توجه به عدم رعایت ملاحظات پدافند غیرعامل
تأسیسات نفتی	D41	مطلوبیت	سبز	حرکت در جهت سیاست‌های جامع جهت رعایت اصول سازگاری در تأسیسات نفتی
	D42	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود تأسیسات نفتی
	D43	بحرانی	قرمز	بی‌توجهی به سیاست‌های جامع جهت رعایت اصول سازگاری در تأسیسات نفتی
بیمارستان‌ها و مراکز بهداشت	A41	مطلوبیت	سبز	ارتقای برنامه‌های حفاظتی با توجه به رعایت ملاحظات سازگاری بیمارستان‌ها و ...
	A42	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود بیمارستان‌ها و ...
	A43	بحرانی	قرمز	ضعف برنامه‌های حفاظتی با توجه به عدم رعایت ملاحظات سازگاری بیمارستان‌ها و ...
اورژانس و سایر خدمات پزشکی	A51	مطلوبیت	سبز	گسترش اورژانس و سایر خدمات پزشکی با توجه به رعایت ماتریس هم‌جواری
	A52	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود اورژانس و سایر خدمات پزشکی
	A53	بحرانی	قرمز	گسترش اورژانس و سایر خدمات پزشکی با توجه به عدم رعایت ماتریس هم‌جواری
مراکز قضایی	B21	مطلوبیت	سبز	رعایت ملاحضات هم‌جواری در مکان‌یابی مراکز قضایی
	B22	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود مراکز قضایی
	B23	بحرانی	قرمز	عدم رعایت ملاحظات هم‌جواری در مکان‌یابی مراکز قضایی
پست برق	D31	مطلوبیت	سبز	کنترل ناهنجاری‌های مکانی ناشی از ناسازگاری پست برق
	D32	ایستا	زرد	ادامهٔ روند وضع موجود پست برق
	D33	بحرانی	قرمز	عدم کنترل ناهنجاری‌های مکانی ناشی از ناسازگاری پست برق

جدول ۵. وضعیت هر یک از پیشران‌ها به تفکیک هر یک از سناریوهای باورکردنی

سناریوی ۱		سناریوی ۲		سناریوی ۳		سناریوی ٤		سناریوی ۵	
پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت
D11	مطلوب	D13	بحرانی	D12	ایستا	D12	ایستا	D12	ایستا
D21	مطلوب	D23	بحرانی	D23	بحرانی	D22	ایستا	D22	ایستا
B11	مطلوب	B11	مطلوب	B11	مطلوب	B12	ایستا	B12	ایستا
D41	مطلوب	D43	بحرانی	D43	بحرانی	D43	بحرانی	D43	بحرانی
A41	مطلوب	A41	مطلوب	A41	مطلوب	A41	مطلوب	A42	ایستا
A51	مطلوب	A51	مطلوب	A51	مطلوب	A51	مطلوب	A52	ایستا
B21	مطلوب	B21	مطلوب	A22	ایستا	A22	ایستا	A22	ایستا
D31	مطلوب	D32	ایستا	D32	ایستا	D32	ایستا	D32	بحرانی
مطلوب: ۸		مطلوب: ٤		مطلوب: ۳		مطلوب: ۲		مطلوب: ۰	
ایستا: ۰		ایستا: ۱		ایستا: ۳		ایستا: ۵		ایستا: ٦	
بحرانی: ۰		بحرانی: ۳		بحرانی: ۲		بحرانی: ۱		بحرانی: ۲	

سناریوی ٦		سناریوی ۷		سناریوی ۸		سناریوی ۹		سناریوی ۱۰	
پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت	پیشران	وضعیت
D11	مطلوب	D12	ایستا	D11	مطلوب	D11	مطلوب	D13	بحرانی
D22	ایستا	D23	بحرانی	D22	ایستا	D21	مطلوب	D23	بحرانی
B12	ایستا	B11	مطلوب	B12	ایستا	B11	مطلوب	B13	بحرانی
D42	ایستا	D43	بحرانی	D42	ایستا	D42	ایستا	D43	بحرانی
A42	ایستا	A41	مطلوب	A42	ایستا	A43	بحرانی	A43	بحرانی
A52	ایستا	A51	مطلوب	A52	ایستا	A53	بحرانی	A53	بحرانی
B23	بحرانی	B21	مطلوب	A22	ایستا	B23	بحرانی	B23	بحرانی
D32	ایستا	D33	بحرانی	D33	بحرانی	D33	بحرانی	D33	بحرانی
مطلوب: ۱		مطلوب: ٤		مطلوب: ۱		مطلوب: ۳		مطلوب: ۰	
ایستا: ٦		ایستا: ۱		ایستا: ٦		ایستا: ۱		ایستا: ۰	
بحرانی: ۱		بحرانی: ۳		بحرانی: ۱		بحرانی: ٤		بحرانی: ۸	

جدول ۶. تختهٔ سناریوهای باورکردنی

سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ٤	سناریو ٥	سناریو ٦	سناریو ۷	سناریو ۸	سناریو ۹	سناریو ۱۰
D11	D13	D12			D11	D12	D11		D13
D21	D23		D22			D23	D22	D21	D23
B11			B12			B11	B12	B11	B13
D41	D43				D42	D43	D42		D43
A41				A42		A41	A42	A43	
A51				A52		A51	A52	A53	
B21		A22			B23	B21	A22	B23	
D31	D32					D33			

بنابراین ۱۰ سناریو با امتیاز بسیار بالا به عنوان سناریوهای باورکردنی در اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز شناخته شد که از میان آن‌ها ۳ سناریو، یعنی سناریوی شمارهٔ ۱ و ۲ و ۷، دارای شرایط مطلوب (سناریوی پیش‌برنده) است و ۵ سناریو، یعنی سناریوهای ۳ و ٤ و ۵ و ٦ و ۸، روند موجود را برای آیندهٔ شهر اهواز نشان می‌دهد در نظر گرفته و ۲ سناریوی دیگر، یعنی سناریوهای ۹ و ۱۰، شرایط بحرانی را نشان می‌دهد.

بررسی صفحهٔ سناریو در نرم‌افزار سناریوویزارد نیز نشان می‌دهد از مجموع ۸۰ وضعیت موجود پیشران‌های اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی تعداد ۲٦ حالت (۳۲/۵ درصد) وضعیت مطلوب، تعداد ۲۹ حالت (۳٦/۲۵ درصد) وضعیت ایستا، تعداد ۲۵ حالت (۳۱/۲۵ درصد) وضعیت بحرانی را نشان می‌دهد. در این زمینه، نتایج حاکی از آن است که وضعیت‌های ایستا بخش عمده‌ای از صفحهٔ سناریو را به خود اختصاص داده است و وضعیت‌های مطلوب و بحرانی بخش‌های دیگر از صفحه را شامل می‌شود.

نتیجه و پیشنهاد

در حال حاضر بخش مهمی از برنامه‌ها و سناریوهای جوامع و نهادهای شهری در مقابله با چالش‌های محیط شهری و مدیریت آن برنامه‌ریزی به منظور تاب‌آوری در برابر سوانح است. از آنجا که زیرساخت‌ها یک شبکهٔ یکپارچه و به‌هم‌وابسته را تشکیل می‌دهند، وقوع اختلال در یک زیرساخت (یک زیرسیستم) می‌تواند در همهٔ سیستم‌ها منتشر و حتی به‌تدریج در سایر زیرساخت‌ها تشدید شود.

دامنهٔ اختلال‌ها و عوارض نامطلوب آن نیز می‌تواند سیستم شهر را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. بر این اساس، اتخاذ روش‌هایی برای افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی ضروری است. به همین منظور در این پژوهش، با توجه به اهمیت موضوع، هدف اصلی تدوین سناریوهای اندرکنش جغرافیایی- مکانی زیرساخت های حیاتی شهری در جهت تاب‌آوری در برابر سوانح بود. سناریوهای مربوط با این هدف تدوین شد که دامنهٔ گزینه‌های بدیل آینده افزایش یابد و سطح آینده‌نگری جوامع در جهت تقویت و آمادگی در برابر سوانح ارتقا پیدا کند. در این پژوهش، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر اندرکنش مکانی شهر اهواز اجزای زیرساخت‌های حیاتی در ۳۰ متغیر شناسایی شد که بین زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز تأثیرگذارترین شاخص مربوط به متغیر ایستگاه گاز و تأثیرپذیرترین شاخص مربوط به متغیر پمپ بنزین و گاز بود. همچنین ۸ عامل کلیدی با استفاده از ماتریس متقاطع شناسایی شد که در مجموع ۲٤ سناریو با در نظر گرفتن وضعیت‌های احتمالی بدبینانه و بینابین و خوش‌بینانه تدوین شد. بر اساس نتایج پژوهش، الگوی کلی پراکندگی پیشران‌های اندرکنش مکانی زیرساخت های حیاتی شهر اهواز بیانگر وضعیت یک سیستم محیطی ناپایدار است که حالت بینابینی از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج و تحلیل‌های صورت‌گرفته، سناریوهای منتخب باورکردنی با توجه به وضعیت‌های احتمالی حاصل از ۸ پیشران کلیدی، درجهٔ مطلوبیت، وجه اشتراک، یا تفاوت آن‌ها به سه گروه تقسیم می‌شود. این سه گروه از سناریوها نمایانگر قالب کلی وضعیت‌های حاکم بر اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز است. گروه اول: سناریوهای مطلوب، شامل سناریوی ۱ و ۲ و ۷، که بهترین و آرمانی‌ترین شرایط ممکن را با توجه به پیشران‌های کلیدی تأثیرگذار و تأثیرپذیر در ارتباط با اندرکنش مکانی زیرساخت‌های حیاتی شهر اهواز نشان می‌دهد. سناریوی ۱ با سازگاری کامل در پیش‌فرض‌های خود بهترین سناریوی پیش‌برنده و مطلوب‌ترین سناریوی اندرکنش مکانی در محدودهٔ مورد مطالعه است و در این سناریو حالت‌های ایستا و بحرانی وجود ندارد. سناریوی ۲ و ۷ هر یک با ٤ وضعیت مطلوب و ۳ وضعیت بحرانی و ۱ وضعیت ایستا در مرتبهٔ بعدی سناریوی پیش‌برنده قرار گرفته‌اند. گروه دوم: سناریوهای بینابین و سناریوهای ادامهٔ وضع موجود با حالتی ایستا، شامل سناریوهای ۳ و ٤ و ۵ و ٦ و ۸، که پیش‌فرض این سناریوها برای ۲٦ وضعیت دارای حالتی ایستاست. در این گروه ۷ وضعیت مطلوب و ۷ وضعیت بحرانی است. گروه سوم: سناریوهای بحرانی، شامل

سناریوهای ۹ و ۱۰، که پیش‌فرض این سناریوها برای ۱۲ وضعیت دارای حالتی بحرانی است. در این گروه ۱ وضعیت مطلوب و ۳ وضعیت ایستاست.

با توجه به پیشران‌های کلیدی و سناریوهای مطلوب در محدودهٔ مورد مطالعه، راهکارهای برنامه‌ریزی زیر پیشنهاد شده است:

راهکارهای کلان

- تدوین الزامات ویژه برای الگوی مکانی و هم‌جواری در کاربری‌های حیاتی
- تمرکززدایی از کاربری‌های حساس و حیاتی
- تدوین الزامات عملی هم‌جواری و مجاورت در کاربری‌های حیاتی
- بهره‌گیری از عمق زمین برای استقرار کاربری‌های حیاتی
- پراکنده‌سازی کاربری‌های حیاتی

راهکارهای خرد

- بالا بردن استحکامات امنیتی زیرساخت حیاتی به‌ویژه زیرساخت انرژی در شهر اهواز
- جانمایی مجدد زیرساخت حیاتی ناسازگار به‌ویژه زیرساخت ایستگاه گاز و پمپ بنزین و گاز در شهر اهواز
- در نظر گرفتن شبکه‌های پشتیبان برای افزایش تاب‌آوری زیرساخت های سیاسی ـ مدیریتی شهر اهواز در برابر سوانح
- استفاده از اصل مقاوم‌سازی و سازگاری در بهبود کمیت و کیفیت کالبدی زیرساخت های خدمات اضطراری در محدودهٔ مورد مطالعه
- نوسازی زیرساخت‌های مربوط به شبکهٔ آب شهری در محدودهٔ مورد مطالعه

به طور کلی پیشنهاد می‌شود با تمرکز بر پیشران‌های شناسایی‌شده، به منزلهٔ عواملی که نقشی بسیار مهم در تصمیم‌گیری‌ها ایفا می‌کنند، دید شفاف‌تری از شرایط حاضر و سپس نحوهٔ مدیریت آن به دست آورد و سایر عوامل را که متأثر از این پیشران‌ها هستند تحت کنترل و مدیریت قرار داد و در جهت نیل به اهداف تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهر برنامه‌ریزی صحیح انجام داد.

منابع

امان‌پور، سعید؛ علی‌رضا پرویزیان (۱۳۹۹). «مکان‌یابی پناهگاه‌های چندمنظورهٔ شهری مبتنی بر اصول پدافند غیرعامل (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۱ کلان‌شهر اهواز)»، *آمایش سرزمین*، ۱۲(۲)، ص ۳۸۵ ـ ٤۰٦. doi: 10.22059/jtcp.2020.305735.670133 10.22059/jtcp.2020.305735.670133

عبدالهی، مجید؛ بشیر حسینی؛ بهمن احمدی‌توانا (۱۳۹۳). «ارائهٔ مدل تحلیل اندرکنشی در مدیریت ریسک شهری جهت ارزیابی میزان حساسیت زیرساخت‌ها و پهنه‌های شهری»، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع، و مدیریت شهری، تهران. https://civilica.com/doc/362974

محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ هادی علی‌زاده؛ داود عباسی گوجانی (۱۳۹۸). «تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز)»، *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۷(۲)، ص ۳۷۵ ـ ۳۹۱. doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042

نکوئی، محمدعلی؛ ساره رودباری؛ روح‌الله طاهرخانی (۱۳۹۵). «چارچوب تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها با استفاده از شبکهٔ گراف»، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران، تهران. https://civilica.com/doc/560042

نورالهی، حانیه؛ عاطفه سلیمانی؛ اکرم برزگر؛ علی علی‌دوستی (۱۳۹۲). «ارزیابی میزان حساسیت دارایی‌ها و پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل اندرکنشی با رویکرد برنامه‌ریزی شهری»، *مدیریت بحران*، ۲(۲)، ص ۳۳ ـ ٤۱.

References

Abdulahi, M., Hosseini, B., & Tawana-Ahmadi, B. (2013). "Presenting an interactive analysis model in urban risk management to assess the sensitivity of infrastructure and urban areas", the second national conference on crisis management and HSE in vital arteries, industries and urban management, Tehran. https://civilica.com/doc/362974. (in Persian)

Amanpour, S. & Parvizian, A. (2020). "Locating Multi-Purpose Urban Shelters Based on the Principles of Passive Defense (The Case Study of the District One of Ahvaz Metropolis)", Town and Country Planning, 12(2), pp. 385-406. doi: 10.22059/jtcp.2020.305735.670133. (in Persian)

Aradau, C. (2010). "Security That Matters: Critical Infrastructure and Objects of Protection", *Security Dialogue*, 41(5), pp. 491–514. doi:10.1177/0967010610382687

Cantelmi, R., Di Gravio, G., & Patriarca, R. (2021). "Reviewing qualitative research approaches in the context of critical infrastructure resilience", *Environ Syst Decis* 41,

pp. 341–376. https://doi.org/10.1007/s10669-020-09795-8

Chen, C., Reniers, G., & Khakzad, N. (2019). *Integrating safety and security resources to protect chemical industrial parks from man-made domino effects: A dynamic graph approach*, Reliability Engineering & System Safety.

Enrico, C., Massimiliano De, A., Ottaviob, G., & Paolo, T. (2011). "Risk analysis of underground infrastructures in urban areas", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 96, Issue 1, pp. 139-148.

Haggag, M., Ezzeldin, M., El-Dakhakhni, W., & Hassini, E. (2020). "Resilient cities critical infrastructure interdependence: a meta-research", *Sustainable and Resilient Infrastructure*, pp. 1–22. doi:10.1080/23789689.2020.1795571

Magoua, J. J., Wang, F., & Li, N. (2022). "High level architecture-based framework for modeling interdependent critical infrastructure systems", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 118, pp. 102-129.

Mohammadi Dehcheshmeh, M., Alizadeh, H., & Abasi Gojani, D. (2019). "The Spatial Analysis of the Indicators Explaining Resilience in the Transportation Infrastructure (Case Study: Ahwaz Metropolis, Iran)", Geographical Urban Planning Research (GUPR), 7(2), pp. 375-391. doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042. (in Persian)

Mohammadi Dehcheshmeh, M. & Ghaedi, S. (2020). "Climate Change and Ecological Migration: A Study of Villages in the Province of Khuzestan, Iran", *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(1), pp. 6-19.

Nakoi, M.A., Rudbari, S., & Taherkhani, R. (2015). "Infrastructure vulnerability analysis framework using graph network", 8th International Comprehensive Crisis Management Conference, Tehran. https://civilica.com/doc/560042 (in Persian)

Nourollahi, H., Soleimani, A., Barzegar, A., & Alidusti, A. (2014). "Critical assement of assests and areas in the city using interdependency analysis – An urbun planning approach", Emergency Management, 2(2), pp. 33-41.

Nuha, E., Ch, E., & Virginia, M. (2018). "Building Urban Resilience for Disaster Risk Management and Disaster Risk Reduction", *Procedia Engineering*, 212(2018), pp. 575-582.

Robert, B. & Morabito, L. (2010). "An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(1), pp. 17–30. doi:10.1504/ijcis.2010.029574.

Singh, A. N., Gupta, M.P., & Ojha, A. (2014). "Identifying critical infrastructure sectors and their dependencies: An Indian scenario", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 7(2), pp. 71–85. doi:10.1016/j.ijcip.2014.04.003.

Sun, W., Bocchini, P., & Davison, B. D. (2022). "Overview of Interdependency Models of Critical Infrastructure for Resilience Assessment", *Natural Hazards Review*, 23(1), pp. 21-38.

Wang, L., Xue, X., Wang, Z., & Zhang, L. (2018). "A Unified Assessment Approach for Urban Infrastructure Sustainability and Resilience", *Advances in Civil Engineering*, pp. 1–19.

Xiao, Y., Zhao, X., Wu, Y., Chen, Z., Gong, H., Zhu, L., & Liu, Y. (2022). "Seismic resilience assessment of urban interdependent lifeline networks", *Reliability Engineering & System Safety*, 218, pp. 108-116.

Yang, Z., Clemente, M. F., Laffréchine, K., Heinzlef, C., Serre, D., & Barroca, B. (2022).

"Resilience of Social-Infrastructural Systems: Functional Interdependencies Analysis", *Sustainability*, 14(2), pp. 606-616.

Zimmerman, R., Zhu, Q., & Dimitri, C. (2016). "Promoting resilience for food, energy, and water interdependencies", *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(1), pp. 50–61. doi:10.1007/s13412-016-0362-0