پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰
ص ۱۱۲۳- ۱۱۰۳
DOI: 10.22059/ JURBANGEO.2021.320214.1473

تحلیل و شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی شهری براساس مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) در کلان‌شهر اهواز

هادی علیزاده* – دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶ تأیید مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

چکیده

تاب‌آوری رویکردی راهبردی برای افزایش ظرفیت مانایی و برگشت‌پذیری دارایی‌های توسعه در گستره‌های فضایی کلان یعنی شهرهاست. در این فرایند دارایی‌های زیرساختی حیاتی از دو جنبهٔ تأثیرگذاری در روند حیات توسعه و آمایش شهرها و جذابیت آن‌ها برای تهدید اهمیت دوچندانی دارند. پژوهش حاضر با روش‌شناسی «توصیفی- تحلیلی» و با هدف شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در آمایش شهری براساس ساختار مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) در کلان‌شهر اهواز انجام شده است. سؤال اصلی پژوهش این است که ظرفیت مورد نیاز زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهر اهواز برای افزایش تاب‌آوری آن‌ها براساس مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری چگونه است. برای گردآوری داده‌ها از روش پیمایشی به‌صورت ابزار پرسشنامه استفاده شده است. جامعهٔ نمونه ۱۰۰ نفر از کارشناسان و استادان دانشگاهی در کلان‌شهر اهواز هستند که به روش دلفی و نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. براساس شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ میزان تأثیرگذاری دارایی، ساختار شبکه‌ای دارایی، پوشش کالبدی دارایی، اهمیت مصرفی دارایی و سرانهٔ مصرف دارایی، زیرساخت حیاتی برق براساس ساختار مدل تاب آوری در مرحلهٔ فروپاشی و سازمان‌دهی مجدد، زیرساخت حیاتی مخابرات در مرحلهٔ بهره‌وری و زیرساخت حیاتی حمل ونقل در مرحلهٔ تعادل قرار دارد. براساس یافته های پژوهش به‌نظر می‌رسد زیرساخت حیاتی برق نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی و بازیابی مجدد، زیرساخت حیاتی مخابرات نیازمند ایجاد ظرفیت رشد و زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل نیازمند ایجاد ظرفیت توسعه در این کلان‌شهر هستند.

واژه‌های کلیدی: بازیابی، تاب‌آوری، چرخهٔ سازگاری زیرساخت‌های حیاتی، کلان‌شهر اهواز.

* نویسنده مسئول
Email: Std.hadi@gmail.com

مقدمه

امروزه توسعه و آمایش متوازن در شهرها نیازمند برنامه‌ریزی برای ماندگاری و ظرفیت تحمل‌پذیری منابع توسعه برای دستیابی به یک آمایش پایدار در شهرهاست (Moghadam et al., 2017: 812)؛ چراکه برای داشتن آمایش متوازن و پایدار در شهرها علاوه‌بر تخصیص متوازن منابع توسعه در راستای هدایت خردمندانهٔ فضا و ظرفیت آن در شهر، وجود ساختار پایدار، مانا و تحمل‌پذیر منابع توسعه از جمله زیرساخت‌های حیاتی که حیات شهرها و توسعهٔ آن‌ها به این زیرساخت‌ها وابسته است، بسیار حیاتی است (La Rosa & Pappalardo, 2020: 2). یکی از راهکارهای سنجش پایداری و مانایی ساختار سیستم‌های پیچیده در سطح کلان، یعنی شهرها و زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان پیچیده‌ترین زیرمجموعه در سطح عملکردی آن، برآورد و کاربست تاب‌آوری در آن‌هاست. در این راستا، رویکرد تاب‌آوری یکی از رهیافت‌های راهبردی مبتنی بر مانایی، ثبات و برگشت‌پذیری سیستمی در برابر تهدیدات و مخاطرات است (محمدی ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۷۸). درواقع تاب‌آوری رویکردی با تأکید بر مانایی و مقاومت دارایی‌های یک سیستم در برابر حوادث و شوک‌های داخلی و خارجی است که می‌تواند در عرصه‌های گوناگون اقتصادی، اجتماعی، کالبدی، نهادی، زیرساختی و حتی زیست‌محیطی نمود یابد (Bloomfield et al., 2017: 193).

درواقع تاب‌آوری روشی جدید و مکمل برای ایجاد محیطی با آمایش پایدار شامل مطالعهٔ مناطق شهری از نظر سیستم‌های اجتماعی- محیطی و اجتماعی- تکنیکی و زیرساخت‌های آن است. در چنین رویکردی، دارایی‌های سیستم پیچیده‌ای به نام شهر قادر به مواجهه با خطرات و سختی‌های پیش‌بینی‌نشده است (Mauriz et al., 2017: 1). این رویکرد، مکمل و پشتیبان دستیابی به آمایش پایدار شهری است؛ چراکه رویکرد راهبردی تاب‌آوری در فرایند ارتقای ظرفیت مانایی و برگشت‌پذیری منابع و دارایی‌های حیاتی و حساس شهرها منطبق با اصول پایداری شهری است (Ajibade, 2017: 86). با توجه به اهمیت این رویکرد راهبردی مفهوم و ایده «برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری شهرها و مناطق» برای اولین بار در سال ۲۰۱۳ توسط انجمن دانشگاهی دپارتمان برنامه‌ریزی آمریکا (ASCP, US) و همچنین انجمن دپارتمان برنامه‌ریزی اروپا (AESOP) برای مطالعهٔ وضعیت زیرساخت‌ها و روساخت‌های حیاتی و حساس شهرها پیشنهاد شده است (Zhang & Li, 2018: 141). مهم‌ترین مسئله در تاب‌آوری و شناخت میزان تحقق آن برای دارایی‌ها به‌ویژه دارایی‌های زیرساختی، تحلیل ظرفیت آن‌ها براساس چرخهٔ سازگاری است. سازگاری تاب‌آوری، چرخه‌ای چهار مرحله‌ای است که آغاز آن فروپاشی و بحران در سیستم یا زیرساخت مورد نظر و پایان آن (بهترین شرایط) تعادل و توسعه است. این تحلیل به شناخت هر چه بهتر وضعیت دارایی‌ها برای برنامه‌ریزی واقع‌بینانه براساس وضع موجود آن‌ها در راستای تاب‌آوری‌شان منجر شده است (علیزاده، ۱۳۹۷: ۲۴۳)؛ چراکه هر که از مراحل موجود در چرخهٔ سازگاری اعم از فروپاشی سیستم، بازسازی، بهره‌وری و تعادل سیستم نیازمند ایجاد ظرفیت‌هایی است که نمای دقیقی از شرایط ساختاری و عملکردی اجزای سیستم را نمایان کرده و برنامه‌ریزی دقیقی را در راستای پایداری هر چه بیشتر سیستم مطرح می‌کند (Huang and Ling, 2018).

شهر اهواز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرها و یکی از نقاط مرزی و راهبردی کشور، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برای تاب‌آوری زیرساختی خود در راستای دستیابی به آمایش پایدار شهری برخوردار است. این مسئله غیر از موقعیت جغرافیایی

و شرایط جمعیتی خاص آن که بر تعداد و حجم آن افزوده می‌شود، در فرسودگی ساختاری و ناکارآمدی در توزیع و طراحی زیرساختی این کلان‌شهر به‌وضوح قابل‌مشاهده است. در بحران به‌وجودآمده ناشی از هجوم ریزگردها به این کلان‌شهر در اواخر سال ۱۳۹۶، حدود ۷۰ درصد از شهر دچار خاموشی شد و در زیرساخت حیاتی برق در شهر اختلالات کارکردی به‌وجود آمد؛ درنتیجه شبکه زیرساختی مخابرات، آب، گاز و تصفیه‌خانه‌های شهر نیز کارکرد خود را در جریان شبکه از دست دادند. این مسئله همچنین خود را در جریان سیلاب‌های گسترده ناشی از بارش‌های گسترده در منطقه در اوایل سال ۱۳۹۸ آشکارا نشان داد؛ وقتی شبکه زیرساختی حمل‌ونقل و برق منطقه دچار اختلال کارکردی شده و شهر را در بحران قرار داده بود. با این اتفاقات به نظر می‌رسد برنامه‌ریزی استراتژیک تاب‌آوری به‌ویژه در زیرساخت‌های حیاتی شهری در این کلان‌شهر امری بسیار ضروری است. یکی از راهکارهای تفکر استراتژیک در حوزه تاب‌آوری شناخت ظرفیت دارایی‌های زیرساختی برای برنامه‌ریزی در راستای تاب‌آوری آن‌ها به‌شمار می‌آید و به‌نوعی نشان‌دهنده ضعف‌ها و قوت‌های محیط داخلی و درنهایت فرصت‌ها و تهدیدهای پیش‌روی آینده آن است. در این راستا، هدف پژوهش حاضر شناخت ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در آمایش شهری کلان‌شهر اهواز براساس مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری است؛ بنابراین سؤال اصلی پژوهش این است که

- با توجه به مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC)[1]، ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهر اهواز چگونه تبیین می‌شود؟

مبانی نظری پژوهش

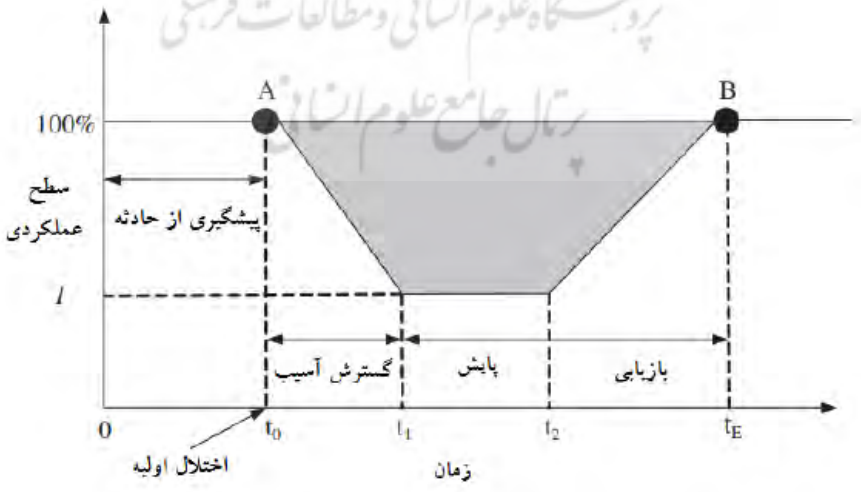
تاب‌آوری مفهوم و رویکردی کلان و راهبردی در راستای دستیابی به مانایی و تحمل‌پذیری منابع توسعه در آمایش شهری است. امروزه تاب‌آوری شهری و دارایی‌های آن به‌عنوان بنیان و رهیافتی اثرگذار در راستای تحقق‌بخشی به برنامه‌ریزی راهبردی در حوزهٔ ارزیابی، تحلیل، کنترل و مدیریت بحران‌ها و چالش‌های ناشی از بلایای انسانی و طبیعی در راستای آمایش پایدار شهری است که راهبردهای برنامه‌ریزی‌شدهٔ پیش‌گیرانه را با هدف ظرفیت مانایی زیرساخت‌ها و منابع توسعه در آمایش شهرها در نظر دارد (علیزاده، ۱۳۹۷: ۲۶-۲۷). در رویکرد تاب‌آوری یکی از حساس‌ترین و راهبردی‌ترین حوزه‌ها، حوزهٔ تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در شهرهاست. زیرساخت‌های حیاتی که در منابع گوناگون دسته‌بندی‌های گوناگونی دارند، عمدتاً به زیرساخت‌های تأمین‌کنندهٔ مواد اولیه، انرژی، ارتباطات و زیرساخت‌های توسعه‌دهندهٔ ابعاد فیزیکی و کالبدی در شهرها قلمداد می‌شوند (Pursiainen, 2018: 633). از اوایل دههٔ ۹۰ میلادی تا سال‌های اخیر، رویکرد ایمنی و محافظت از زیرساخت‌های حیاتی سه تغییر الگو را سپری کرده است (شکل ۱). درواقع این فرایند از یک رویکرد حفاظتی صرف از زیرساخت‌ها که بعد از حوادث تروریستی اتفاق افتاده، در سازمان تجارت جهانی در سال ۱۹۹۳ و مادرید در سال ۲۰۰۴ و همچنین مخاطرات طبیعی رخ داده که شهرهای متعددی را در مناطق مختلف جهان تحت تأثیر قرار می‌داد (۱۹۹۰- تا اوایل ۲۰۰۰) رویکرد تاب‌آوری در زیرساخت‌های حیاتی (۲۰۱۰ تا الآن) با توجه ویژه به ظرفیت مانایی، جذب و بازیابی در حین و بعد از مخاطرات تغییر یافته است (Haghpanah, 2015: 16).

1. Resilience Adaptive Cycle

شکل ۱. سیر تحول تغییر پارادایم در حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی

منبع: Haghpanah, 2015

با غلبهٔ رویکرد تاب‌آوری در مباحث مربوط به حفاظت و نگهداری از زیرساخت‌های حیاتی در برابر مخاطرات انسانی و طبیعی، توجه به ظرفیت مانایی، سازگاری و انعطاف‌پذیری سیستم‌های زیرساختی در برابر شرایط سخت ایجاد شده و زمان پاسخ و بازیابی و برگشت به حالت اولیه اهمیت دوچندانی یافته است. در این میان، مفاهیم، توابع و مدل‌های گوناگونی تشریح شده‌اند که اهمیت و مدت‌زمان پاسخ و واکنش به رخداد (مانند منحنی موجود از نقطهٔ A هنگام وقوع تا زمان اقدام به بازیابی در نقطهٔ B در شکل ۲) در سیستم‌های زیرساختی و شدت آسیب‌ها و حد آستانهٔ مورد نیاز برای بازیابی را بیان می‌کنند.

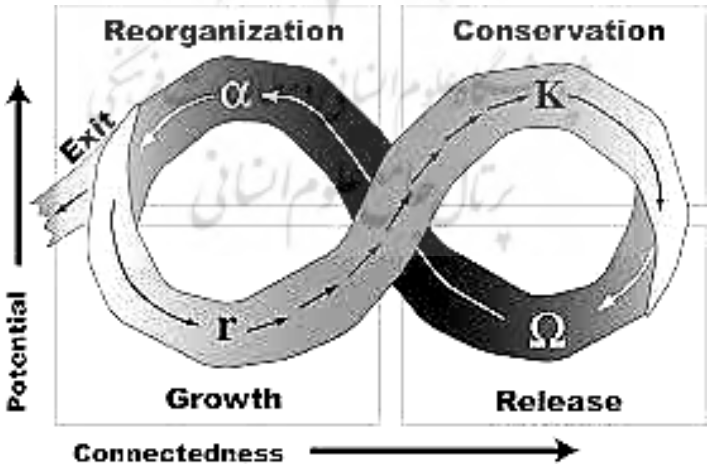


شکل ۲. منحنی نحوهٔ پاسخ و فرایند بازیابی سیستم زیرساختی هنگام مواجهه با تهدید

منبع: Ouyang et al., 2012

باید اذعان کرد که زیرساخت‌های هر نظام یا سیستم، چه در سطح کلان آن به‌عنوان یک کشور و چه در سطح خُرد آن به‌منزلهٔ شهر یا روستا نقشی حیاتی در ادامه جریان حیات و پویایی در آن نظام یا سیستم بر عهده دارند. درواقع زیرساخت‌های یک سیستم را می‌توان مانند شریان‌های حیاتی آن سیستم قلمداد کرد که از حساسیت بالایی برای حفاظت و پشتیبانی برخوردار بوده و نیازمند برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های راهبردی برای تأمین ایمنی فضایی آن‌ها در شهرهاست. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی یک شهر را فراتر از مباحث کالبدی و توسعه‌دهندهٔ می‌توان در دو دستهٔ عمدهٔ شریان‌های حیاتی مبتنی بر انرژی (برق، آب، گاز) و شریان‌های حیاتی مبتنی بر ارتباطات (حمل‌ونقل و مخابرات) تقسیم‌بندی کرد (Collier & Venables, 2016: 322).

نوع واکنش در برابر حوادث، اندازهٔ زمان و راهکارهای بازیابی بعد از حادثه، شیوهٔ بازسازی و راهکارهای اجراشده برای کاهش آثار حوادث و آماده‌سازی سیستم برای ادامه‌داشتن جریان عملکردی و پویایی ساختاری در آن، نشان‌دهندهٔ رویه‌هایی است که در تاب‌آوری و کارکرد آن در نظام‌های خُرد و کلان مدنظر قرار می‌گیرد (امیری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳۷). یکی از مهم‌ترین مدل‌ها و چارچوب‌های ارائه‌شده برای اندازه‌گیری ظرفیت تاب‌آوری یک سیستم چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری است. آنچه در این مدل اهمیت دارد، ظرفیت سیستم، شدت متأثرشدن و کیفیت این تأثیرپذیری از خطرات در کنار سیر گذار از شرایط بحرانی و درنهایت رسیدن به مقاومت و سازگاری با خطرات است که به تاب‌آوربودن سیستم یا غیر تاب‌آوربودن آن منجر می‌شود (Peng et al., 2017: 89). مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) برای اولین بار در مطالعات تاب‌آوری نظام‌های اکولوژیکی و با بهره‌گیری و بسط نظریهٔ هولینگ[1] زیست‌شناس کانادایی –آمریکایی ارائه شد. در این مدل، در قالب چهار مرحله، سازگاری و ظرفیت تاب‌آوری منابع و سیستم‌ها در برابر شوک‌ها و مخاطرات بیرونی تشریح و ارزیابی شده است (شکل ۳) (Fath et al., 2015: 23).



شکل ۳. مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC)

منبع: Fath et al., 2015: 23

1. Holling

در مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) برای اندازه‌گیری ظرفیت تاب‌آوری یک سیستم، منطقهٔ r اشاره به ظرفیت رشد دارد که برای موفقیت در این مرحله به عملکرد موفقیت‌آمیز منابع نیاز است. منطقهٔ K ظرفیت توسعه را بیان می‌کند که قرارگیری در این مرحله به خودسازمان‌دهی اطلاعات و دارایی‌ها نیاز دارد. منطقهٔ Ω، ظرفیت زنده‌ماندن یا مانایی را نشان می‌دهد. برای موفقیت در این مرحله، حفاظت از اطلاعات و کارکردهای اساسی سیستم مورد نیاز است و منطقهٔ α، ظرفیت بازیابی و تجدید ساختارها را گوشزد می‌کند. موفقیت در این مرحله نیازمند یادگیری و تلاش برای احیای ساختارهای ناکارآمد است (Fath et al., 2015: 24). درواقع در چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری خروجی حاصل از مواجهه با بحران و البته کیفیت مواجهه با بحران سه نوع دستاورد را در پی خواهد داشت. اولین دستاورد، دسترسی و فهم از ارزش‌های اساسی و کلیدی است که سیستم باید به‌دلیل آن‌ها شرایط بحرانی را تحمل کند. دستاورد دوم دسترسی به تعادلی جدید در وضعیت سیستم یا نظام اجتماعی است و دستاورد سوم سازگارکردن ظرفیت‌های سیستم با خطرات بعدی است (Peng et al., 2017: 90). تحلیل منابع سیستم در این مدل، چهار نوع وضعیت و متعاقب آن چهار نوع ظرفیت را می‌طلبد.

در حالت سلسله‌مراتبی، بدترین شرایط در مرحلهٔ Ω است که به مرحلهٔ فروپاشی معروف است. در این مرحله که آغاز قرارگیری سیستم در بحران است، منابع و دارایی‌هایی سیستم نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی[1] هستند. بعد از این مرحله، مرحلهٔ α قرار دارد که به مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد اشاره دارد. در این مرحله، سیستم و منابع آن نیازمند بازیابی و ساختاردهی مجدد به شرایط و امکانات ساختاری هستند. مرحلهٔ r به مرحلهٔ بهره‌وری شهرت دارد. در این مرحله، بعد از بازیابی، سیستم و منابع و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن رشد کارکردی و ساختاری خود را آغاز می‌کنند؛ بنابراین این مرحله نیازمند ایجاد ظرفیت‌های مبتنی بر رشد و تقویت کمی ساختاری است. مرحلهٔ نهایی یعنی k مرحلهٔ تعادل است. در این مرحله، ساختار در نهایت اوج قرار دارد و به‌نوعی منابع سیستم در عملکرد و ساختار خود تعادل و پایداری دارند. ظرفیت مورد نیاز نیز ارتقای بنیان‌های توسعه و توانمندی‌های مبتنی بر توسعه که فراتر از رشد است خواهد بود.

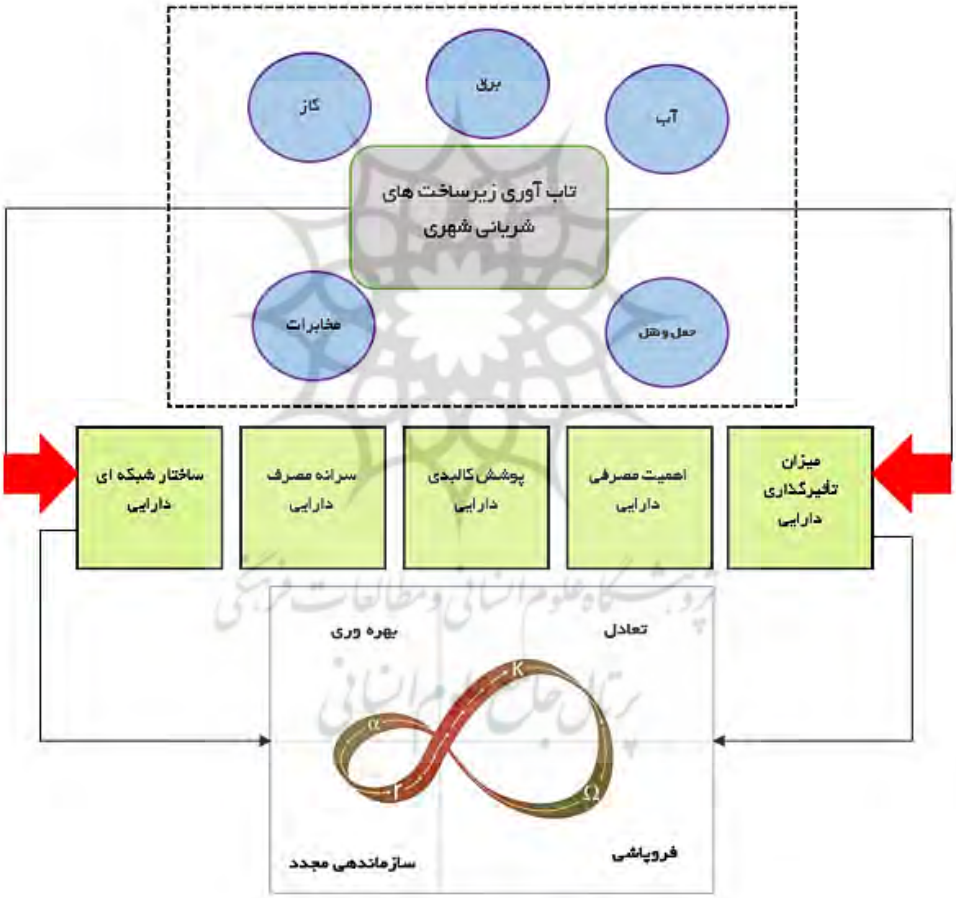
روش پژوهش

مطالعهٔ حاضر به لحاظ هدف‌شناسی مطالعه‌ای «کاربردی- توسعه‌ای» و به لحاظ روش‌شناسی به‌صورت «توصیفی- تحلیلی» است. برای گردآوری داده‌های توصیفی پژوهش از روش اسنادی متن پایه به‌صورت مراجعه به اسناد علمی، پژوهشی و کتابخانه‌ای یا آرشیو مجلات علمی- پژوهشی داخلی و خارجی استفاده شده است. برای گردآوری اطلاعات تحلیلی پژوهش با توجه به ماهیت پژوهش از روش پیمایشی به‌صورت ابزار پرسشنامه استفاده شده است. درواقع هدف اصلی از این کار این بود که با شناسایی شاخص‌های معیار برای ارزیابی وضع موجود، زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهر اهواز مشخص شد که در قالب مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) هریک از زیرساخت‌های در کدام مرحله از مدل برای شناخت ظرفیت آن‌ها برای تاب‌آوری قرار دارند.

بنابراین مرحلهٔ پیمایشی پژوهش در دو بخش و به روش دلفی و با نمونه‌گیری هدفمند انجام شده است. بدین‌صورت

1. Survive

که ابتدا با روش نمونه‌گیری هدفمند از دیدگاه ۱۵ کارشناس و خبره[۱] مرتبط با موضوع پژوهش در راستای گردآوری شاخص‌های سنجش ظرفیت در قالب چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری و در چهار مرحلهٔ آن یعنی فروپاشی، سازمان‌دهی مجدد، بهره وری و تعادل اقدام شد. مرحلهٔ دوم بهره‌گیری از نظرات ۱۰۰ کارشناس[۲] برای تعیین ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در دو بخش انرژی (آب، برق و گاز) و ارتباطی (مخابرات و حمل‌ونقل) براساس شاخص‌های شناسایی‌شده بود. برای ارزیابی میزان اجماع و توافق کارشناسان روی شاخص‌های تعیین‌کننده وضعیت موجود زیرساخت‌های حیاتی از ضریب هماهنگی کندال در قالب نرم‌افزار SPSS-21 استفاده شد. درنهایت برای تحلیل نظرات ارائه‌شده توسط کارشناسان و رتبه‌بندی وضعیت زیرساخت‌ها از منظر ظرفیت تاب‌آوری آن‌ها از مدل شاخص شباهت به گزینهٔ ایده‌آل فازی (FTOPSIS) استفاده شد.



شکل ۴. مدل مفهومی پژوهش

۱. تیم تصمیم‌گیری پژوهش در این مرحله، ۱۵ نفر از استادان دانشگاه در رشته‌های جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، پدافند غیرعامل، مهندسی شهرسازی و همچنین مهندسی عمران بودند که از دیدگاه آن‌ها برای گردآوری شاخص‌های مبنا برای تحلیل ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌ها در مدل سازگاری تاب‌آوری استفاده شده است.

۲. تیم تصمیم‌گیری پژوهش در این مرحله را استادان دانشگاه، کارشناسان سازمان آب و برق، شرکت آبفا، سازمان حمل‌ونقل شهری، سازمان راه و شهرسازی و شهرداری‌های مناطق هشت‌گانهٔ کلان‌شهر اهواز تشکیل می‌دهند.

شاخص‌های پژوهش

برای ارزیابی تاب‌آوری در حوزهٔ زیرساخت‌های حیاتی در شهرها، مؤلفه‌ها و شاخص‌های گوناگونی در تحقیقات متعددی ارزیابی و به آن‌ها اتکا شده است (جدول ۱).

جدول ۱. گزیده ای از مؤلفه ها و شاخص های تحلیل تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در مطالعات پیشین

منبع	شاخص	تشریح
اویانگ و همکاران، ۲۰۱۲	ظرفیت مقاومت زیرساختی، ظرفیت جذب زیرساختی، ظرفیت بازتوانی زیرساختی	میزان مقاومت ساختاری زیرساخت‌های حیاتی (برق، آب، گاز و مخابرات) در برابر حوادث، میزان جذب و تحمل تغییرات در زیرساخت‌های حیاتی، مدت‌زمان سپری‌شده برای بازگشت به حالت اولیه، میزان توانایی و زمان برای بهبود شرایط
شریفی و یاماگاتا، ۲۰۱۵	جذب‌پذیری، انعطاف‌مندی، تنوع، ظرفیت خارجی سیستم	میزان توانمندی برای سپری‌کردن حالات بحرانی، میزان ارتباط و هم‌بستگی ساختاری شبکه‌ای، میزان جذب تغییرات و شوک‌های خارجی، تنوع طراحی و عددی، سرعت زمان بازیابی
گرنای و همکاران، ۲۰۱۶	شبکه زیرساختی، ساختار فیزیکی، هم‌بستگی کارکردی	سطح طراحی و الگوی طراحی، قدمت و کیفیت ساختاری، اتصال و عملکرد متقابل زیرساختی
نگ و همکاران، ۲۰۱۸	تراکم مصرف، طراحی ساختاری، کیفیت ساختاری	میزان پوشش جمعیت، سطح اشغال فضایی شبکه، کیفیت طراحی شبکه زیرساختی، قدمت کارکردی شبکه زیرساختی
هوآنگ و لینگ، ۲۰۱۸	ظرفیت جذب، ظرفیت سازگاری، ظرفیت بازیابی	توزیع فضایی زیرساخت‌ها، توانایی تحمل آسیب‌ها و شوک‌ها، مدیریت، کنترل و پایش شبکهٔ زیرساختی، زمان بازگشت به شرایط اولیه، زمان ارتقای شرایط بهتر از حالت اولیه
رمضان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳	دسترسی‌پذیری، کیفیت ساختاری	دسترسی به زیرساخت‌های برق، گاز، آب، دسترسی به خدمات ارتباطی و مخابراتی، دسترسی به شریان‌های حمل‌ونقل، کیفیت جذب و تطبیق‌پذیری ساختاری
شکری فیروزجاه، ۱۳۹۶	کیفیت ساختاری، تراکم مصرف، دسترسی‌پذیری	دسترسی به زیرساخت‌های حیاتی، کیفیت طراحی و استحکام زیرساخت‌های حیاتی، قدمت و عمر شبکهٔ زیرساختی، سطح و سرانهٔ مصرف شبکهٔ زیرساختی
نامجویان و همکاران، ۱۳۹۶	ظرفیت تحمل سیستم، ظرفیت واکنش و بازیابی سیستم، کیفیت ساختاری سیستم	توان تحمل‌پذیری در برابر شوک‌های داخلی و خارجی زیرساخت‌ها، ظرفیت جذب شوک‌های خارجی، اختصاص تنوع و برنامه‌های پشتیبانی زیرساختی، کیفیت طراحی شبکهٔ زیرساختی

در این پژوهش، برای گردآوری شاخص‌های نهایی تبیین‌کنندهٔ موضوع بعد از تحلیل محتوای نظری مرتبط با تاب‌آوری شهری و شاخص‌های آن، از دیدگاه ۱۵ خبره و کارشناس مطلع، به روش دلفی و با نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد. در این مرحله، هدف گردآوری شاخص‌هایی بود که بیان‌کنندهٔ وضع موجود زیرساخت‌های شهری و اهمیت آن‌ها از منظر تاب‌آوری باشد. این تحلیل در دو راند انجام شد که راند نهایی به شناسایی ۵ شاخص نهایی انجامید و ضریب روایی شد. این شاخص‌ها عبارت‌اند از: میزان تأثیرگذاری دارایی با ضریب روایی و اجماع ۰/۸۳، ساختار شبکه‌ای دارایی ۰/۷۹، پوشش کالبدی دارایی ۰/۸۶، اهمیت مصرفی دارایی با ۰/۹۱ و سرانهٔ مصرف دارایی ۰/۸۹. برای محاسبهٔ ضریب روایی و درصد اجماع کارشناسان از ضریب روایی (هماهنگی) کندال[1] در قالب نرم‌افزار SPSS 21 استفاده شد. درواقع در این مرحله، ضرایبی مبنای تأیید قرار گرفتند که میزانی بیش از ۰/۷ داشتند.

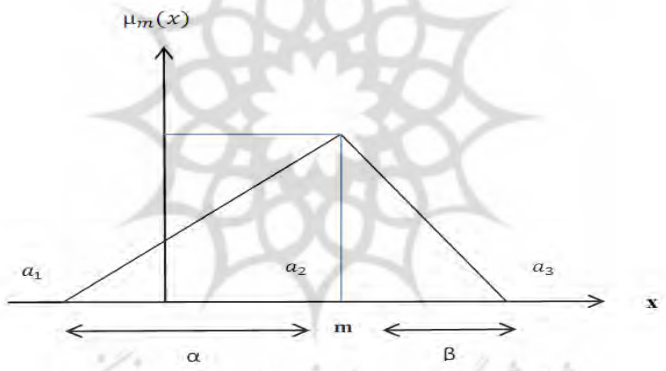
1. Kendall W

جدول ۲. شاخص‌های پژوهش و روایی آن‌ها

شاخص	ضریب روایی در راند اول	ضریب روایی در راند دوم
میزان تأثیرگذاری دارایی	۰/۷۲	۰/۸۳
ساختار شبکه‌ای دارایی	۰/۷۱	۰/۷۹
پوشش کالبدی دارایی	۰/۷۶	۰/۸۶
اهمیت مصرفی دارایی	۰/۸۴	۰/۹۱
سرانهٔ مصرف دارایی	۰/۷۸	۰/۸۹

ساختار عملکردی مدل شباهت به گزینهٔ ایده‌آل فازی (FTOPSIS)

تکنیک به‌کاررفته در پژوهش حاضر، مدل شباهت به گزینهٔ ایده‌آل فازی یا تاپسیس فازی است که اولین بار توسط چن و هوانگ[1] برای تصمیم‌گیری دربارهٔ n معیار با m گزینه ارائه شد. این مدل از چند مرحله برای تجزیه و تحلیل داده ها بهره می‌برد (عطایی، ۱۳۸۹: ۴۶). مرحلهٔ اول در این مدل تشکیل ماتریس تصمیم است. اگر از اعداد فازی مثلثی برای تحلیل در این تکنیک استفاده شود، عملکرد آن به‌صورت $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, c_{ij}, b_{ij})$ خواهد بود.



شکل ۵. تابع عضویت اعداد مثلثی در محیط فازی

مرحلهٔ دوم در این مدل تعیین ماتریس وزن معیارها خواهد بود که از روابط زیر برای حصول به این امر استفاده می‌شود.

$$w_{j1} = \min_k \{w_{jk1}\}$$

$$w_{j2} = \frac{\sum_{k=1}^{k} w_{jk2}}{k}$$

$$w_{j1} = \max_k \{c_{jk1}\}$$

مرحلهٔ سوم بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم فازی است که این مرحله با توجه به روابط زیر انجام می‌شود.

1. Chen & Hwang

$$r_{ij} = \left[\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right]$$

$$r_{ij} = \left[\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right]$$

در روابط بالا $c_j^* = max_i\ c_{ij}$ و همچنین $a_j^- = min_i\ a_{ij}$ خواهد بود. با توجه به روابط بالا ماتریس بی‌مقیاس‌شدهٔ فازی ($\tilde{R}$) به‌دست خواهد آمد که درمجموع با استفاده از رابطهٔ زیر تشکیل می‌شود:

$$R = \left(r_{ij}\right) m \times n \ldots i : 1, 2, 3 \ldots m$$

مرحلهٔ چهارم در میان شاخص‌های مورد محاسبه شاخص‌هایی با جنبهٔ مثبت و شاخص‌هایی با جنبهٔ منفی است که در مدل پژوهش برای محاسبهٔ وزن‌های اختصاص داده‌شده بدان‌ها به‌ترتیب از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_{ij} \left[\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right]$$

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_{ij} \left[\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right]$$

مرحلهٔ پنجم در این مدل محاسبهٔ نزدیکی به ایده‌آل فازی[1] و ضد ایده آل فازی[2] است. این حالات به‌ترتیب با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$A^* = \left[v_1^*, v_2^*, \ldots v_n^*\right]$$

$$A^- = \left[v_1^-, v_2^-, \ldots v_n^-\right]$$

در این روابط $\tilde{v}_i^*$ بهترین مقادیر شاخص‌ها و $\tilde{v}_i^-$ بدترین مقدار برای شاخص‌ها خواهد بود.

مرحلهٔ ششم محاسبهٔ فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی خواهد بود که به‌ترتیب از روابط زیر برای آن‌ها استفاده شده است.

$$S_i^* = \sum_{i=1}^{n} d = \left(v_{ij}, v_j^*\right)$$

$$S_i^- = \sum_{i=1}^{n} d = \left(v_{ij}, v_j^-\right)$$

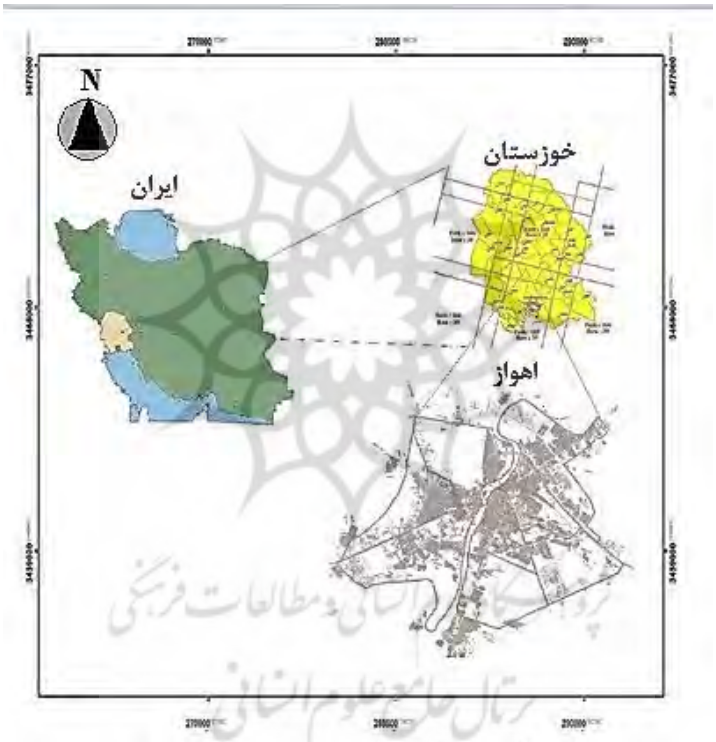
مرحلهٔ آخر در این مدل محاسبهٔ شاخص شباهت خواهد بود که با استفاده از رابطهٔ زیر است.

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

1. Fuzzy Positive Ideal Solution (FPIS)
2. Fuzzy Negative Ideal Solution (FNIS)

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

کلان شهر اهواز به‌عنوان مرکز استان خوزستان از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقهٔ طول شرقی قرار گرفته است. این کلان‌شهر با مساحت ۲۲۰ کیلومتر مربع دومین شهر وسیع ایران پس از تهران است (شکل ۶). به‌دلیل قرارگیری در موقعیت ژئواستراتژیک و موقعیت مرزی این کلان‌شهر، توجه به زیرساخت‌های حیاتی که به‌عنوان پیشران‌های توسعهٔ این کلان‌شهر قلمداد می‌شوند، امری ضروری است. این مسئله وقتی ضرورت پیدا می‌کند که این کلان‌شهر غیر از موقعیت مرزی و تهدیدات انسانی احتمالی، با تهدیدات طبیعی مواجه است؛ از قبیل سیل یا مانند آنچه در اوایل سال جاری یا پدیدهٔ ریزگردها که در سال ۱۳۹۶ اتفاق افتاد و شریان‌های انرژی و ارتباطی شهر را از کار انداخت، یا گرمای طاقت‌فرسای هوا که به قطعی مکرر شریان‌های انرژی از جمله آب و برق در این کلان‌شهر منجر شد.



شکل ۶. موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر اهواز

منبع: ویرایش و ترسیم نگارندگان

در زمینهٔ زیرساخت‌های حیاتی کلان‌شهر اهواز توازن و برخورداری مناسب و تاب‌آورانه ندارد. مهم‌ترین نقاط آسیب‌پذیر شهر در زمینهٔ زیرساخت حیاتی آب در این شهر، تصفیه‌خانه‌ها و منابع آب است. مطابق با اطلاعات دریافت‌شده از سازمان آب و فاضلاب کلان‌شهر اهواز، حدود ۶۰ درصد آب مصرفی در اهواز از طرح آب‌رسانی غدیر برداشت می‌شود که از منبع کرخه سرچشمه می‌گیرد. همچنین ۳۰ درصد آب اهواز از رودخانهٔ کارون و ۱۰ درصد دیگر نیز از آب حیات برداشت می‌شود. آب برداشت‌شده توسط ۵ تصفیه‌خانهٔ کیان‌آباد، تصفیه‌خانهٔ شمارهٔ ۱ ملی راه، تصفیه‌خانهٔ

شهر کارون، تصفیه‌خانهٔ گلستان، تصفیه‌خانهٔ علی ابن مهزیار، تصفیه‌خانهٔ شیبان، ملاثانی و حمیدیه تصفیه می‌شود (سازمان آب و فاضلاب شهر اهواز، ۱۳۹۶). در زمینهٔ زیرساخت حیاتی برق، مهم‌ترین دارایی‌های راهبردی، پست‌های فشارقوی برق و نیروگاه‌های تأمین برق محسوب می‌شوند که نیازمند تاب‌آوری بالا در برابر حوادث هستند. برای تأمین برق کلان‌شهر اهواز دو نیروگاه وجود دارد که یکی از آن‌ها، یعنی نیروگاه تولید برق شهید مدحج (زرگان) در داخل محدودهٔ عملکردی و خدماتی این کلان‌شهر قرار دارد و دیگری یعنی نیروگاه رامین است که بیرون از محدودهٔ عملکردی شهر در کیلومتر ۲۰ جاده اهواز – مسجدسلیمان و در مجاورت رودخانهٔ کارون و شهـر ویس در شمال شرقی اهـواز است. نیروگاه رامین بزرگ‌ترین نیروگاه حرارتی کشور، نیازمند تمهیدات ویژه برای آن در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی است (سازمان آب و برق استان خوزستان، ۱۳۹۶).

دارایی زیرساختی گاز این دارایی به‌عنوان یکی از پرخطرترین دارایی‌های زیرساختی در کلان‌شهر اهواز است که درصورت هرگونه تهدید و انفجار می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری از لحاظ مالی و جانی برای این کلان‌شهر داشته باشد. شبکهٔ گازرسانی با توجه به میزان فشار آن در سه طبقهٔ ۴۰۰ PSI، ۲۵۰ PSI و همچنین ۶۰ PSI است. قسمت شبکه با فشار بالای گاز در بخش‌های جنوبی از سمت غرب به سمت شرقی شهر است که این نواحی با تاب‌آوری بالا برای گاز نیازمند خواهند بود. زیرساخت حیاتی مخابرات یکی از دیگر از زیرساخت‌های حیاتی در این کلان‌شهر است. با توجه به اطلاعات موجود دو دکل مخابراتی، یعنی دکل سازمان آب و برق استان خوزستان و دکل مخابرات شرکت ملی نفت ایران و همچنین ۶ مرکز مخابراتی که در مناطق ۱، ۲، ۷ و ۴ شهری کلان‌شهر اهواز قرار دارند، از مهم‌ترین دارایی‌های شبکهٔ زیرساختی مخابرات در این کلان‌شهر هستند که ارتباطات شهر را تأمین می‌کنند و نیازمند تاب‌آوری بالا هستند. درنهایت حمل‌ونقل شهری یکی دیگر از زیرساخت‌های حیاتی مهم است که در شهر اهواز به‌دلیل فرسودگی زیرساختی، آب‌گرفتگی و خاک‌گرفتگی هنگام بحران‌های طبیعی به‌ویژه در مرکز و بخش‌های حاشیه‌ای شهر بسیار آسیب‌پذیر است. از نگاه تاب‌آوری علاوه بر مسئلهٔ یادشده سلسله‌مراتب عملکردی شبکهٔ حمل‌ونقل اعم از بزرگراه‌ها و حیاتی‌های درجهٔ یک از اهمیت بالایی برخوردارند که درصورت آسیب می‌توانند زندگی شهر را مختل کنند.

یافته‌های پژوهش

در مرحلهٔ تحلیل داده‌های پژوهش تلاش شد دارایی‌های زیرساختی کلان‌شهر اهواز با توجه به پنج شاخص معیار، یعنی میزان تأثیرگذاری دارایی، ساختار شبکه‌ای دارایی، پوشش کالبدی دارایی، اهمیت مصرفی دارایی و سرانهٔ مصرف دارایی در مراحل چهارگانهٔ مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) تحلیل شدند. درواقع شاخص‌های معیارهای پنج‌گانهٔ یادشده با استفاده از نظرات کارشناسان و با توجه به وضع موجود ساختاری و عملکردی دارایی‌های زیرساختی آب، گاز، برق، مخابرات و حمل‌ونقل در کلان‌شهر اهواز تدوین شد تا هرکدام از این دارایی‌ها در قالب مدل تاب‌آوری در چهار مرحلهٔ آن یعنی بهره‌وری (α) سازمان‌دهی مجدد (r)، فروپاشی (Ω) و حفاظت و تعادل (k) ارزیابی شوند و ظرفیت مورد نیاز آن‌ها شناسایی شود. وزن‌های داده‌شده در قالب طیف لیکرت در مرحلهٔ بعدی به اعداد فازی مثلثی تبدیل و در قالب مدل شباهت به گزینهٔ ایده‌آل فازی تحلیل شده است.

جدول ۳. اعداد فازی مثلثی برای ارزش‌گذاری به شاخص‌های پژوهش

اهمیت شاخص‌ها	میزان ارزش فازی
خیلی ضعیف	۱، ۱، ۳
ضعیف	۱، ۳، ۵
متوسط	۳، ۵، ۷
مناسب	۵، ۷، ۹
خیلی مناسب	۷، ۹، ۹

منبع: عطایی، ۱۳۸۹

در ادامه با استفاده از مدل شباهت به گزینهٔ ایده‌ال فازی (FTOPSIS) سعی شد به تحلیل داده‌های پژوهش پرداخته شود. در این فرایند در جدول ۴ نمونهٔ ماتریس بی‌مقیاس‌شدهٔ فازی برای مرحلهٔ فروپاشی در قالب پنج شاخص معیار آمده است.

جدول ۴. ماتریس بی‌مقیاس‌شدهٔ فازی برای مرحله فروپاشی (Ω)[1]

	سرانهٔ مصرف زیرساخت			اهمیت مصرفی زیرساخت			پوشش کالبدی زیرساخت			ساختار شبکه‌ای زیرساخت			میزان تأثیرگذاری زیرساخت		
برق	۰/۹	۰/۸۷	۰/۵	۰/۹	۰/۸۸	۰/۷	۰/۹	۰/۷۹	۰/۵	۰/۹	۰/۸	۰/۳	۰/۹	۰/۸۷	۰/۵
آب	۰/۹	۰/۶۹	۰/۵	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۹	۰/۷	۰/۳	۰/۹	۰/۷۴	۰/۳
گاز	۰/۹	۰/۶۵	۰/۳	۰/۹	۰/۶۱	۰/۵	۰/۹	۰/۷۱	۰/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۷	۰/۶۱	۰/۱
مخابرات	۰/۹	۰/۷۱	۰/۳	۰/۹	۰/۶۴	۰/۳	۰/۹	۰/۶۱	۰/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۶۳	۰/۳
حمل‌ونقل	۰/۹	۰/۷۱	۰/۵	۰/۹	۰/۷۱	۰/۳	۰/۹	۰/۶۲	۰/۳	۰/۹	۰/۷	۰/۳	۰/۹	۰/۶۴	۰/۳

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

در ادامه و با توجه به ساختار مدل شباهت به گزینهٔ ایده‌آل فازی به تشکیل ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار فازی برای مراحل چهارگانهٔ مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری اقدام شد که در قالب پنج شاخص معیار وضع موجود، به‌عنوان نمونه برای پنج زیرساخت حیاتی در مرحلهٔ فروپاشی آمده است.

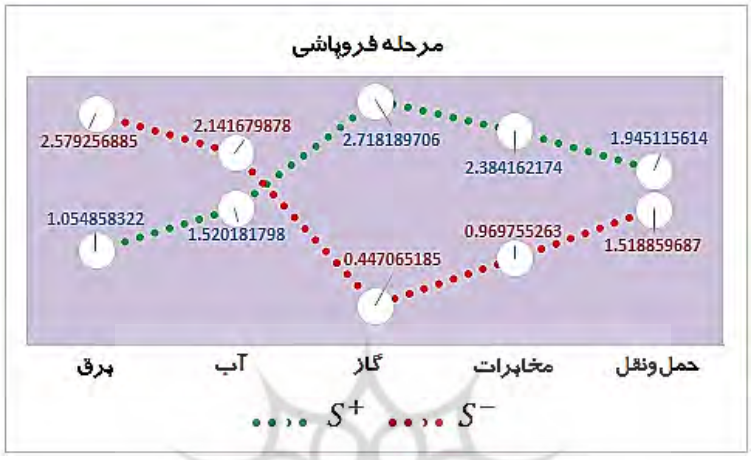
جدول ۵. ماتریس بی‌مقیاس‌شدهٔ موزون فازی برای مرحله فروپاشی (Ω)

	سرانهٔ مصرف زیرساخت			اهمیت مصرفی زیرساخت			پوشش کالبدی زیرساخت			ساختار شبکه‌ای زیرساخت			میزان تأثیرگذاری زیرساخت		
برق	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۳۵	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۴۹	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۲۱	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۳۵
آب	۰/۸۱	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۴۹	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۸۱	۰/۵۲	۰/۱۵
گاز	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۱
مخابرات	۰/۴۵	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۴۵	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۴۵	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۱۹	۰/۰۳
حمل‌ونقل	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۳۲	۰/۰۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

۱. این مرحله برای تمامی مراحل مدل تاب‌آوری در قالب پنج مؤلفهٔ ارزیابی وضع موجود انجام شده است که با توجه به طولانی‌بودن جدول‌ها در این بخش نمونه‌ای از آن‌ها آورده شده است.

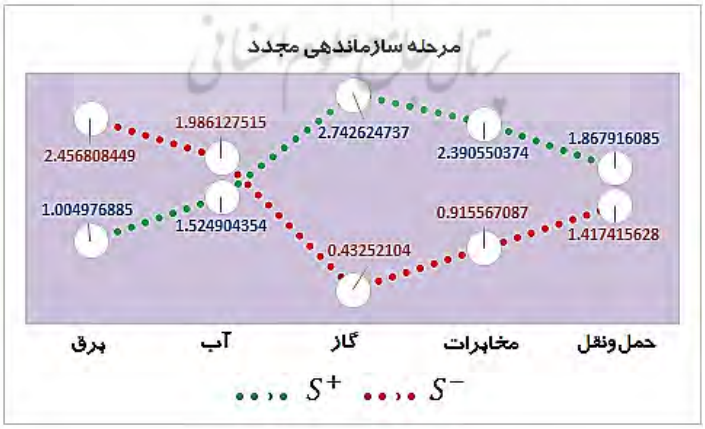
بعد از محاسبهٔ ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار فازی برای مراحل چهارگانهٔ مدل تاب‌آوری در قالب سنجه‌های وضع موجود زیرساخت‌های حیاتی سعی شد به برنامه‌نویسی و محاسبهٔ شاخص فاصله از ایده‌آل مثبت (S^+) برای زیرساخت‌های حیاتی در هرکدام از مراحل مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) و همچنین شاخص فاصله از ایده‌آل منفی (S^-) برای هرکدام از آن‌ها اقدام شد که نتایج این مرحله در قالب نمودارهای چهارگانهٔ پایین تشریح شده است.



شکل ۷. نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ فروپاشی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

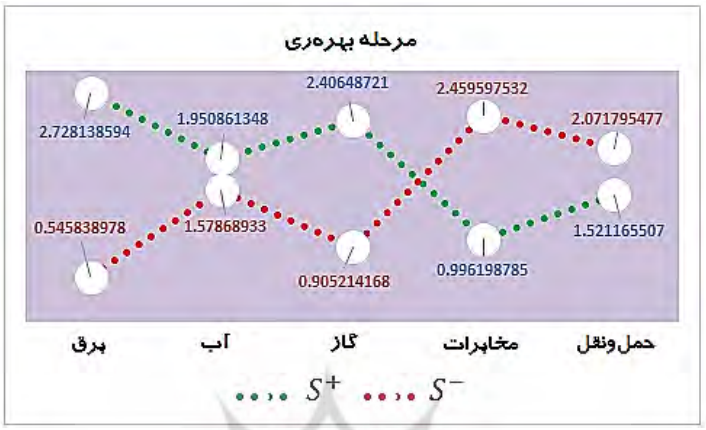
نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ فروپاشی برای زیرساخت‌های حیاتی نشان می‌دهد در این مرحله، زیرساخت حیاتی برق کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت و زیرساخت حیاتی گاز بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت را دارند که به‌ترتیب بدترین و بهترین حالت در این مرحله برای زیرساخت‌های حیاتی کلان‌شهر اهواز در چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری است.



شکل ۸. نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

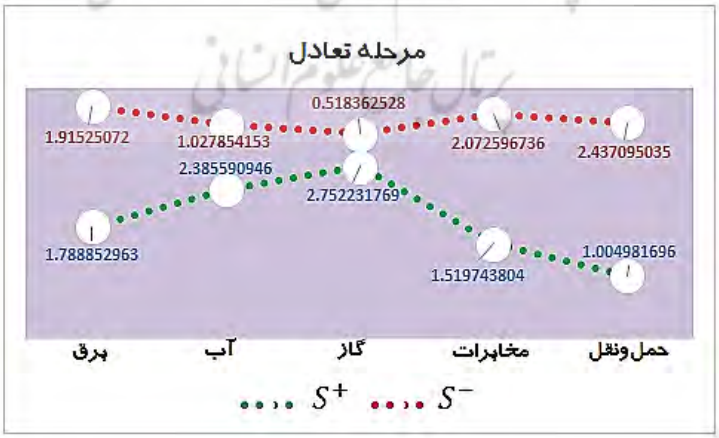
براساس نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد، مطابق با مرحلهٔ فروپاشی، زیرساخت حیاتی برق کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت و زیرساخت حیاتی گاز بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت را دارند که به‌ترتیب بدترین و بهترین حالت در مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد برای زیرساخت‌های حیاتی کلان‌شهر اهواز در چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری است.



شکل ۹. نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ بهره‌وری

منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۹

نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ بهره‌وری برای زیرساخت‌های حیاتی نشان می‌دهد در این مرحله، زیرساخت حیاتی مخابرات کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت و زیرساخت حیاتی برق بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت را دارند. این مرحله نیازمندی زیرساخت حیاتی مخابرات به ظرفیت‌های مورد انتظار در مرحلهٔ بهره‌وری و البته اولویت‌نداشتن زیرساخت حیاتی برق در این مرحله به ظرفیت‌های مورد نظر است.



شکل ۱۰. نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحله تعادل

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

نمودار شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مرحلهٔ تعادل برای زیرساخت‌های حیاتی نشان می‌دهد در این مرحله، زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت و زیرساخت حیاتی گاز بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت را دارند. این مرحله نیازمندی زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل به ظرفیت‌های مورد انتظار در مرحلهٔ بهره‌وری و البته اولویت‌نداشتن زیرساخت حیاتی گاز در این مرحله به ظرفیت‌های مورد نظر است. بعد از محاسبهٔ شاخص‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و فاصله از ایده‌آل منفی که وضعیت زیرساخت‌های حیاتی را با توجه به وضع موجود برای تبیین جایگاه آن‌ها در مراحل چهارگانهٔ مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) تشریح کرده است، به محاسبهٔ شاخص شباهت نهایی (CC_i) اقدام شد. این مرحله در قالب نسبت شاخص فاصله از ایده‌ال منفی بر مجموع شاخص ایده‌آل از مثبت با منفی برنامه‌نویسی و تحلیل شد.

جدول ۶. محاسبهٔ شاخص شباهت فازی نهایی برای زیرساخت‌های حیاتی در مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری

	فروپاشی	سازمان‌دهی مجدد	بهره‌وری	تعادل
	CC_i	CC_i	CC_i	CC_i
برق	۰/۷۰۷۹	۰/۷۰۹۶	۰/۱۶۶۷	۰/۵۱۷
آب	۰/۵۸۴۸	۰/۵۶۵۶	۰/۴۴۷۲	۰/۳۰۱۱
گاز	۰/۱۴۱۲	۰/۱۳۲۶	۰/۲۷۳۳	۰/۱۵۸۴
مخابرات	۰/۲۸۹۱	۰/۲۷۶۹	۰/۷۱۱۷	۰/۵۷۶۹
حمل‌ونقل	۰/۴۳۸۴	۰/۴۳۱۴	۰/۵۷۶۶	۰/۷۰۸

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

مطابق با مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری، با شروع بحران، سیستم در مرحلهٔ Ώ (مرحله فروپاشی سیستم) قرار می‌گیرد. در این مرحله، سیستم دارای کارکرد و ساختاری ضعیف و متزلزل است که در کارکرد کلان آن و همچنین کارکرد اجزای زیرمجموعه بی‌توازنی و ضعف‌های متعددی آشکار است؛ به‌طوری‌که با شروع بحران در وضعیت اضطراری یا بحرانی قرار می‌گیرد. مطابق با نتایج تحلیل نهایی فازی جدول ۵، زیرساخت حیاتی برق براساس شاخص‌های معیار وضع وجود در کلان‌شهر اهواز در این مرحله قرار دارد؛ بنابراین ظرفیت مورد نیاز این زیرساخت در مرحلهٔ فروپاشی ایجاد ظرفیت مانایی است. با کاهش اثرات بحران، مرحلهٔ α (مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد سیستم) قرار دارد. در این مرحله، سیستم نیازمند ایجاد ظرفیت بازیابی از وقایع و بحران‌های اتفاق افتاده است و سازمان‌دهی و آرایش جدید ساختاری و عملکردی با تجربه‌اندوزی از نقاط ضعف بروز داده می‌تواند برای حیات کارکردی و ساختاری سیستم بسیار مهم باشد. مطابق با نتایج جدول ۵، مانند مرحلهٔ اول، زیرساخت حیاتی برق در کلان‌شهر اهواز در این مرحله در اولویت اول قرار گرفته است و علاوه بر نیاز به ظرفیت مانایی، به ایجاد ظرفیت بازیابی نیز نیاز است که حساسیت و ضعف بالای این زیرساخت حیاتی را در کلان‌شهر اهواز نشان می‌دهد. مرحلهٔ سوم مرحلهٔ r یعنی مرحلهٔ بهره‌وری سیستم است که در این مرحله با پایش شرایط، تقویت و برطرف‌سازی نیازها سیستم می‌تواند رشد کارکردی و ساختاری را شروع کند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، زیرساخت حیاتی مخابرات با توجه به شاخص‌های معیار موجود در کلان‌شهر اهواز در این مرحله قرار دارد؛ یعنی این زیرساخت نیازمند تقویت و رشد کمی زیرساخت‌ها و ابزارهای آن برای تاب‌آوری هرچه بیشتر در

کلان‌شهر اهواز است. درنهایت مرحلهٔ K یعنی مرحلهٔ تعادل سیستم قرار دارد که مرحلهٔ نهایی مدل چرخهٔ سازگاری است. این مرحله نهایت تاب‌آوری است و در آن سیستم در سطح کلان و زیرمجموعهٔ آن در سطح خرد دارای توازن و تعادل کارکردی و ساختاری است. با این شرایط زیرساخت مدنظر نیازمند ایجاد ظرفیت‌های توسعه به لحاظ کیفی است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و در مقایسه با سایر زیرساخت‌ها، زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل در کلان‌شهر اهواز در این مرحله قرار دارد و نیازمند ایجاد ظرفیت‌های مبتنی بر توسعهٔ کیفی آن است.

نتیجه‌گیری

امروزه تاب‌آوری رویکردی راهبردی برای سنجش پایداری منابع و دارایی‌های توسعه در برابر بحران‌ها و شرایط سخت به‌ویژه در گسترهٔ فضایی شهرهاست. در این میان، زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان حیاتی‌ترین دارایی‌ها و با توجه به پیچیدگی و اهمیت کارکردی آن‌ها در شهرها، بیش‌ازپیش به تاب‌آوری نیاز دارند. یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های ارائه‌شده برای اندازه‌گیری و ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری یک سیستم، مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) است که در چهار وضعیت (فروپاشی، سازمان‌دهی مجدد، بهره‌وری (رشد) و تعادل) به ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری و نیازمندی‌های یک سیستم و اجزای آن مانند زیرساخت‌های حیاتی برای برنامه‌ریزی در راستای جبران ضعف‌ها و تقویت قوت‌ها در راستای تاب‌آورکردن آن می‌پردازد. این پژوهش، برای اولین بار براساس این مدل که نوآوری این پژوهش نیز است، نشان داد که زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهر اهواز به‌عنوان بستر مورد مطالعه، از منظر ظرفیت تاب‌آوری و نیازمندی‌های آن چه وضعیتی دارد.

با توجه به اهمیت ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در کلان‌شهر اهواز به‌عنوان یکی از شهرهای ژئواستراتژیکی کشور و موقعیت مرزی آن و شرایط خاص آب و هوایی این شهر، در این پژوهش برای اولین بار از مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) استفاده و در قالب آن به شناسایی جایگاه و ظرفیت تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در دو بخش انرژی و ارتباطات در این کلان‌شهر پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده حاوی نکات زیر بود:

براساس روش دلفی هدفمند و از دیدگاه کارشناسان پنج شاخص میزان تأثیرگذاری دارایی، ساختار شبکه‌ای دارایی، پوشش کالبدی دارایی، اهمیت مصرفی دارایی و سرانهٔ مصرف دارایی به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی اهمیت و وضع موجود دارایی‌های زیرساختی در قالب چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) شناسایی شدند. درواقع براساس این شاخص‌ها، در این پژوهش ارزیابی جایگاه و ظرفیت زیرساخت‌های حیاتی انرژی و ارتباطی در کلان‌شهر اهواز در قالب مدل چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری صورت گرفت؛ درحالی‌که میزان تأثیرگذاری دارایی با ضریب روایی و اجماع ۰/۸۳، ساختار شبکه‌ای دارایی ۰/۷۹، پوشش کالبدی دارایی ۰/۸۶، اهمیت مصرفی دارایی با ۰/۹۱ و سرانهٔ مصرف دارایی ۰/۸۹ ضریب روایی شناسایی شدند.

تحلیل اهمیت و جایگاه زیرساخت‌های حیاتی انرژی (آب، گاز و برق) در قالب مراحل چهارگانهٔ چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری یعنی فروپاشی (Ω)، سازمان‌دهی مجدد (α)، بهره‌وری (r) و تعادل (k) براساس پنج شاخص تعیین وضعیت موجود و اهمیت زیرساخت‌های حیاتی نشان داد که زیرساخت حیاتی برق در کلان‌شهر اهواز با توجه به شاخص‌های پنج‌گانهٔ ارزیابی وضع موجود، با کسب ۰/۷۰۹۷ وزن شباهت فازی نهایی در مرحلهٔ فروپاشی (Ω) و با ۰/۷۰۹۶ وزن

شباهت فازی نهایی در مرحلهٔ سازمان‌دهی مجدد (α) در اولویت اول قرار دارد و وضعیت مطلوبی ندارد. قرارگرفتن در این مراحل یعنی این زیرساخت نیازمند ایجاد ظرفیت مانایی و به عبارت دیگر اقدام به اجرای تمهیدات لازم برای حفاظت از فروپاشی سیستم و زیرمجموعه آن و البته سازمان‌دهی مجدد ساختاری و کارکردی در قالب نیاز به ظرفیت بازیابی است. درواقع این نتیجه نشان می‌دهد که زیرساخت حیاتی برق در کلان‌شهر اهواز در جایگاه بحرانی و اضطراری قرار دارد و با تمهیدات لازم باید در راستای بازیابی و سازمان‌دهی مجدد آن کوشید.

براساس یافته‌های پژوهش زیرساخت حیاتی مخابرات به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی ارتباطی در کلان‌شهر اهواز با کسب ۰/۷۱۱۷ وزن نهایی فازی در مرحلهٔ بهره‌وری (r) قرار دارد. این نتیجه بیانگر این مهم است که این زیرساخت حیاتی، نیازمند ایجاد ظرفیت رشد برای آن از طریق ارتقای کمی ساختاری و ابزاری آن و زیرمجموعهٔ وابسته آن در کلان‌شهر اهواز است. در این مرحله، تعدد کمی و پراکنش متوازن و کمی این زیرساخت با توجه به ظرفیت‌های شهر می‌تواند در راستای تاب‌آوری آن در کلان‌شهر اهواز با توجه به چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) ارزیابی شود.

درنهایت اینکه براساس چرخهٔ سازگاری تاب‌آوری (RAC) و شاخص‌های پنج‌گانهٔ معیار پژوهش، زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل در کلان‌شهر اهواز با کسب ۰/۷۰۸۰ وزن فازی نهایی در مرحلهٔ تعادل (K) قرار دارد. این نتیجه بیانگر این مهم است که ظرفیت مورد نیاز این زیرساخت، ظرفیت توسعهٔ کیفی آن و عناصر زیرمجموعهٔ کالبدی و ابزاری آن است. درواقع ارتقای کیفیت ساختاری و ابزاری نظام حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهر اهواز، استفاده از رویکردهای نوین در نظام تردد و جابه‌جایی مسئله‌ای است که در راستای تاب‌آوری این زیرساخت در شهر اهواز لازم است.

در راستای نتایج پژوهش، پیشنهادهای ذیل ارائه می‌شود:

- جلوگیری از گسترش بحران و پایش مداوم گره‌گاه‌های حساس در سراسر سیستم از طریق پایش مداوم و عملیاتی شبکه در زیرساخت حیاتی برق توسط نهادهای ذی‌ربط در کلان‌شهر اهواز
- برنامه‌ریزی برای ایجاد ساختارهای واکنش سریع هنگام بروز حادثه در شبکهٔ زیرساختی حیاتی برق در کلان‌شهر اهواز
- سرمایه‌گذاری برای بازسازی و آرایش مجدد ساختار شبکهٔ زیرساختی برق در کلان‌شهر اهواز بر مبنای کاهش ضعف گذشته و جلوگیری از تهدیدات آینده
- ایجاد ظرفیت پذیرش چارچوب‌های نو و رشددهنده در ساختار شبکهٔ زیرساختی مخابرات در کلان‌شهر اهواز برای پوشش سراسری، مطلوب و پایدار
- تعامل‌گرایی نهادهای ذی‌ربط برای پذیرش و تسهیل در جذب و مبادلهٔ ارتباطات و اطلاعات در ساختار شبکهٔ زیرساختی مخابرات کلان‌شهر اهواز
- ارتقای کمی نقاط و گره‌های رشد در جریان کارکردی شبکهٔ زیرساختی مخابرات در مناطق شهری کلان‌شهر اهواز
- سرمایه‌گذاری برای تنوع و نوسازی در شاخص‌های کیفی برای زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل و اجزای آن در گسترهٔ فضایی کلان‌شهر اهواز
- سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از ابزارهای فناورانه و دانشی در ساختاریابی شبکهٔ زیرساختی حمل‌ونقل در کلان‌شهر اهواز

منابع

امیری، محمدجواد، سپهرزاد، بهناز، معرب، یاسر و اسماعیل صالحی (۱۳۹۶). «ارزیابی تاب‌آوری ساختاری- طبیعی کاربری اراضی شهرها (نمونهٔ موردی: منطقهٔ ۱ تهران)»، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۱، ۱۳۷-۱۴۸.

پرتوی، پروین، بهزادفر، مصطفی و زهرا شیرانی (۱۳۹۵). «طراحی شهری و تاب‌آوری اجتماعی (بررسی موردی: محلهٔ جلفای اصفهان)»، نشریهٔ نامهٔ معماری و شهرسازی، شمارهٔ ۱۷، ۹۹-۱۱۶.

حاتمی‌نژاد، حسین، فرهادی‌خواه، حسین، آروین، محمود و نگار رحیم‌پور (۱۳۹۶). «بررسی ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری تفسیری (نمونهٔ موردی: شهر اهواز)»، فصلنامهٔ دانش پیشگیری و مدیریت بحران، شمارهٔ ۱، ۲-۱۶.

رمضان‌زاده لسبویی، مهدی، عسگری، علی و بدری، سید علی (۱۳۹۳). «زیرساخت‌ها و تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی با تأکید بر سیلاب (منطقهٔ مورد مطالعه: مناطق نمونهٔ گردشگری چشمه کیله تنکابن و سردآبرود کلاردشت)»، نشریهٔ تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شمارهٔ ۱، ۳۵-۵۲.

سازمان آب و برق خوزستان (۱۳۹۶). *راهنمای گره‌گاه‌ها و توسعهٔ شبکهٔ زیرساختی انرژی در کلان‌شهر اهواز*، اهواز: سازمان آب و برق خوزستان.

سازمان آب و فاضلاب شهر اهواز (۱۳۹۶). *کتابچهٔ تشریح وضعیت زیرساخت‌های آب و فاضلاب در مناطق شهری شهر اهواز*، اهواز : سازمان آب و فاضلاب اهواز.

شکری فیروزجاه، پری (۱۳۹۶). «تحلیل فضایی میزان تاب‌آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی»، فصلنامهٔ برنامه‌ریزی توسعهٔ کالبدی، شمارهٔ ۶، ۲۷-۴۴.

علیزاده، هادی (۱۳۹۷). *تحلیلی بر تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی از منظر دفاع غیرعامل در کلان‌شهر اهواز*، تهران: سازمان پدافند غیرعامل کشور.

عطایی، محمد (۱۳۸۹). *تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی*، چاپ اول، شاهرود : انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدی ده‌چشمه، مصطفی، علیزاده، هادی و داود عباسی (۱۳۹۸). «تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت حیاتی حمل‌ونقل (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز)». فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، شمارهٔ ۲، ۳۷۵- ۳۹۱.

نامجویان، فرخ، رضویان، محمدتقی و سرور رحیم (۱۳۹۶). «تاب‌آوری شهری چارچوبی الزام‌آور برای مدیریت آیندهٔ شهرها»، مجلهٔ جغرافیایی سرزمین، شمارهٔ ۵۵، ۸۱-۹۵.

Ahvaz Water and Wastewater Organization (2017). *A booklet describing the status of water and wastewater infrastructure in urban areas of Ahvaz*. Ahvaz: Ahvaz Water and Wastewater Organization *(In Persian)*

Ajibade, I. (2017). Can a future city enhance urban resilience and sustainability? A political ecology analysis of Eko Atlantic city, Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *26*, 85-92.

Alizadeh, H. (2018) *An analysis of the resilience of arterial infrastructures from the perspective of passive defense in Ahvaz metropolis*. Tehran: Passive Defense Organization of the Country. *(In Persian)*

Amiri, M. J., Sepehrzad, B., Moarab, Y., & Salehi, E. (2017). Evaluation of natural- structural resilience of urban land use (Case study: Region 1 Tehran). *Geographical Researches*, *32*(1), 137-148. *(In Persian)*

Atai, M. (2010). *Fuzzy multi-criteria decision-making* (1st ed.). Shahroud: Shahroud University of Technology Publications. *(In Persian)*

Bloomfield, R. E., Popov, P., Salako, K., Stankovic, V., & Wright, D. (2017). Preliminary interdependency analysis: An approach to support critical-infrastructure risk-assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, *167*, 198-217.

Collier, P., & Venables, A. J. (2016). Urban infrastructure for development. *Oxford Review of Economic Policy*, *32*(3), 391-409.

Fath, B. D., Dean, C. A., & Katzmair, H. (2015). Navigating the adaptive cycle: an approach to managing the resilience of social systems. *Ecology and Society*, *20*(2), 23-33

Gernay, T., Selamet, S., Tondini, N., & Khorasani, N. E. (2016). Urban infrastructure resilience to fire disaster: An overview. *Procedia Engineering*, *161*, 1801-1805.

Greeshma, P., & Kumar, K. M. (2016). Disaster Resilience in Vulnerable cities through Neighbourhood Development: A case of Chennai. *Procedia Technology*, *24*, 1827-1834.

Haghpanah, F. (2015). *Multilevel alignment of critical infrastructure protection and resilience (CIP-R) programmes: A systematic analysis of international good practices*, Doctoral dissertation, Supervisor: Prof. Paolo Trucco, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy. http://hdl. handle. net/10589/104743

Hatami Nejad, H., Farhadikhah, H., Arvin, M., & Rahimpour, N. (2017). Investigation the dimensions influencing urban resilience using Interpretive Structural Modeling (ISM) (Case study: Ahwaz city). *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *7*(1), 35-45. *(In Persian)*

Huang, W., & Ling, M. (2018). System resilience assessment method of urban lifeline system for GIS. Computers, *Environment and Urban Systems*, *71*, 67-80

Khuzestan Water and Power Organization (2017). *Guide to nodes and development of energy infrastructure network in Ahvaz metropolis*. Ahvaz: Khuzestan Water and Power Organization *(In Persian)*

Mauriz, L., Fonseca, J., Forgasi, C., & Bjorling, N. (2017). The livability of spaces: Performance and/or resilience? Reflections on the effects of spatial heterogeneity in transport and energy systems and the implications on urban environmental quality. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *6*, 1-8

Mohammadi Deh Cheshme, M., Alizadeh, H., & Abbasi, D. (2019). Spatial analysis of resilience explanatory indicators in arterial transport infrastructure (Case study: Ahvaz mpetropolitan area). *Urban Planning Geographical Research Quarterly*, *7*(2), 395-375. *(In Persian)*

Namjuyan, F., Razavian, M. T., & Sarvar, R. (2017). Urban resilience is a binding framework for the future management of cities. *Geographical Land Journal*, *14*(55), 81-95. *(In Persian)*

Ng, S., Xu, F., Yang, Y., Lu, M., & Li, J. (2018). Necessities and challenges to strengthen the regional infrastructure resilience within city clusters. *Procedia Engineering*, *212*, 198–205

Ouyang, M., Dueñas-Osorio, L., & Min, X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*, *36*, 23-31.

Partovi, P., Behzadfar, M., & Shirani, Z. (2016). Urban design and social resilience (A case study: Jolfa Isfahan Neighborhood*). Journal of Architecture and Urban Development*, *9*(17), 99-116. *(In Persian)*

Peng, C., Yuan, M., Gu, Ch., Peng, Z., & Ming, T. (2017). A review of the theory and practice of regional resilience. *Sustainable Cities and Society*, *29*, 86-96

Pursiainen, C. (2018). Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *27*, 632-641.

Ramezanzadeh Lasboei, M., Asgari, A., & Badri, S. A. (2014). Infrastructures and resiliency to natural disasters with emphasis on flood the case: Typical tourism regions in North of Iran (Cheshmekile & Sardabrud). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 1*(1), 35-52. *(In Persian)*

Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2018). Resilient urban form: A conceptual framework. In: *Resilience-Oriented Urban Planning* (pp. 167-179). Cham: Springer.

Shokri Firoozjah, P. (2017). Spatial analysis of resilience of Babol's regions to environmental hazards. *Physical Sacial Planning, 4*(2), 27-44. *(In Persian)*

Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Program. *Cities, 61*,109-116

Zhang, X., & Li, H. (2018). Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know? *Cities, 72*, 141-148

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی