

آینده پژوهی نقش حمل و نقل هوشمند بر تاب‌آوری توسعه پایدار شهری (نمونه موردی: شهر اهواز)

طهماسبی، فرشته (دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران).
سرافراز، وحید، (استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران).

چکیده:

با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی، ترافیک و فرسودگی زیرساخت‌های کلان‌شهر اهواز، استقرار سیستم‌های حمل و نقل هوشمند برای ارتقای تاب‌آوری شهری و توسعه پایدار ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل اثرات متقاطع پیشران‌های کلیدی مؤثر بر آینده نقش حمل و نقل هوشمند در تقویت تاب‌آوری توسعه پایدار شهری در کلان‌شهر اهواز تا افق ۱۴۲۰ انجام شده است. این تحقیق آینده‌پژوهانه با رویکردی توصیفی-تحلیلی، ضمن بهره‌گیری از مطالعات اسنادی و تکنیک دلفی با مشارکت متخصصان، به تحلیل داده‌ها با مدل اثرات متقاطع در نرم‌افزار Micmac پرداخته است. یافته‌ها حاکی از استخراج ۲۹ پیشران کلیدی است که نقشه راه تاب‌آوری اهواز را ترسیم می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد پایداری شهر در برابر بحران‌های اقلیمی (مانند گرما و ریزگردها) و چالش‌های زیرساختی، پیوندی ناگسستنی با محرک‌های دیجیتال نظیر «پایش هوشمند محیطی» و «تاب‌آوری سایبری» دارد. همچنین، ثبات ساختاری مدل و تحلیل اثرات متقاطع، بر لزوم گذار از توسعه کالبدی سنتی به حکمرانی داده‌محور تأکید می‌کند. در نتیجه، تاب‌آوری توسعه پایدار اهواز در افق ۱۴۲۰ از رویکردی «سازه‌محور» به ضرورتی «داده‌محور» تطور یافته است؛ به گونه‌ای که هوشمندسازی و انعطاف‌پذیری سیستم حمل و نقل، نه یک انتخاب فناورانه، بلکه ستون فقرات پایداری برای گذار به یک سیستم مدیریت شهری پیش‌دستانه و تاب‌آور محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: حمل و نقل هوشمند، تاب‌آوری، توسعه پایدار شهری، آینده پژوهی، شهر اهواز.

Future Research on the Role of Smart Transportation on the Resilience of Sustainable Urban Development (Case Study: Ahvaz City)

Given the environmental challenges, gridlocked traffic, and infrastructure decay in the Ahvaz metropolis, the deployment of Intelligent Transportation Systems (ITS) is not merely a technological choice but an unavoidable necessity for enhancing urban resilience. By optimizing traffic flow and reducing transportation-related pollutants, this approach provides a systematic framework for achieving sustainable development indicators under the city's unique climatic and social conditions. Accordingly, this study aims to identify and analyze the cross-impacts of key driving forces affecting the future role of smart transportation in strengthening the resilience of sustainable urban development in Ahvaz through the 2041 horizon. This research is futures studies by nature and employs a descriptive-analytical methodology. In the first step, the final analysis—integrating documentary studies and the Delphi technique (with the participation of urban and transportation experts) using the Micmac cross-impact

analysis model—led to the extraction of 29 key drivers that delineate the resilience roadmap for Ahvaz towards 2041. The research findings indicate that the stability of Ahvaz against climatic challenges and infrastructural wear is inextricably linked to digital and institutional drivers such as "Smart Environmental Monitoring" and "Cyber Resilience." The structural stability of the model, along with the overlap of direct and indirect impacts, emphasizes the necessity of shifting from traditional physical development toward data-driven governance; essentially, the functional survival of the city in the face of crises like extreme heat and dust storms can only be guaranteed through a smart and flexible transportation system. Ultimately, sustainable development resilience by 2041 has evolved from a "structure-oriented" concept to a "data-driven" necessity, where smartification is not just an option but the backbone of sustainability for transitioning to a proactive system

Intelligent Transportation, Resilience, Sustainable Urban Development, Futures Studies, Ahvaz City.

۱. مقدمه:

در عصر حاضر، وسایل نقلیه به جزیی جدایی‌ناپذیر از زیست روزمره بدل شده‌اند؛ با این حال، غلبه خودروها در کلان‌شهرها چالش‌های ترافیکی عدیده‌ای را در مسیر توسعه پایدار پدید آورده و ضرورت بازنگری در راهبردهای حمل‌ونقل را دوجندان می‌کند (رمضان‌زاده و شکیبایی‌فر، ۱۴۰۱: ص. ۸۳). گسترش شتابان شهرنشینی، مدیریت شهری را در حوزه جابه‌جایی درون‌شهری با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه ساخته است (ژنگ و همکاران^۱، ۲۰۲۵: ص ۳). پایداری به‌عنوان آرمانی جهانی، بر تأمین نیازهای نسل حاضر بدون مخاطره برای آیندگان تأکید دارد و ابعاد اقتصادی و اجتماعی را نیز در بر می‌گیرد (والزبرگ و همکاران^۲، ۲۰۲۱: ص. ۲۱؛ فرقانی و همکاران، ۱۴۰۲: ص. ۱۲۸). با این حال، پایداری مفهومی ایستا نیست و باید با بافت محلی و اقلیمی هر منطقه سازگار شود (بن‌کریم و ایمبو^۳، ۲۰۲۱: ص. ۱۵). در جوامعی نظیر ایران، تحقق توسعه‌یافتگی بدون شبکه ترابری منسجم غیرممکن است که این امر ضرورت هوشمندسازی را برجسته می‌سازد (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۵: ص. ۹۴). هوشمندسازی سیستم حمل‌ونقل با بهینه‌سازی مصرف انرژی، نقشی کلیدی در توسعه پایدار و ارتقای «تاب‌آوری شهری» ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که سیستم در برابر فشارهای ناگهانی منعطف‌تر عمل کرده و توانایی انطباق خود را حفظ می‌کند (پوپوفز و پوپووا^۴، ۲۰۲۲: ص. ۱۷). تاب‌آوری در بافت پویایی هوشمند، نه تنها بازگشت به حالت اولیه، بلکه قابلیت بقا و رشد در مواجهه با تغییرات متلاطم است (الکسوپولوس و همکاران^۵، ۲۰۲۲: ص. ۳).

رشد جمعیت در کلان‌شهرهایی چون اهواز، معضلاتی نظیر احتقان ترافیکی و فرسودگی زیرساخت‌ها را در پی داشته است. هدف غایی مدیریت شهری، دستیابی به سامانه‌ای «تاب‌آور» است که از طریق تلفیق با «پویایی هوشمند»، ساختاری یکپارچه ایجاد نماید (دولگوئی و ایوانوف^۶، ۲۰۲۱). این فناوری با داده‌های لحظه‌ای، ایمنی را افزایش داده و توانایی مقابله با شوک‌های ناگهانی را بهبود می‌بخشد (وانگ و همکاران^۷، ۲۰۲۵؛ ماگتو و همکاران^۸، ۲۰۲۴: ص. ۵۵۵۷).

^۱ Zheng et al

^۲ Walzberg et al

^۳ Benkarim & Imbeau

^۴ Popova & Popovs

^۵ Alexopoulos et al

^۶ Dolgui & Ivanov

^۷ Wang et al

^۸ Mageto et al

حمل و نقل هوشمند صرفاً زیرساختی فیزیکی نیست، بلکه تعاملی میان شهروندان و برنامه ریزان برای ترددی ایمن است (پترولو و همکاران^۹، ۲۰۱۷: ص. ۱۶). اجرای آن از منظر اقتصادی موجب کاهش هزینه‌ها (شامی و همکاران، ۱۴۰۰: ص. ۲۱) و از منظر اجتماعی سبب توزیع عادلانه امکانات می‌شود (شمس‌نجفی و همکاران، ۱۴۰۱: ص. ۶۲۷). این تحول با تغییر سبک زندگی، هسته مرکزی تاب‌آوری فرهنگی محسوب می‌شود (سیلوا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۸). ادغام فناوری‌های هوشمند برای مقابله با بحران‌های آینده ضروری است و نقشی بنیادین در گذار از الگوهای سنتی ایفا می‌کند (لو و شانگ^{۱۱}، ۲۰۲۳: ص. ۱۸؛ پویا و همکاران، ۱۴۰۱: ص. ۷۸). تشدید چالش‌های قرن بیست و یکم، موجب ظهور پارادایم حمل و نقل هوشمند برای یکپارچه‌سازی زیرساخت‌ها شده است (تامواکیس و زینیدیس^{۱۲}، ۲۰۱۲: ص. ۳۴۴۳؛ رویکردی که کارایی حرکت را مدیریت کرده (المطار^{۱۳}، ۲۰۲۰: ص. ۱۷) و به عاملی برای پیشرفت پایدار تبدیل شده است (پورجوان، ۱۳۹۸: ص. ۲۵؛ یانوشوا و چیچمانکوا^{۱۴}، ۲۰۱۶: ص. ۱۵).

هوشمندسازی بر چرخه «جمع‌آوری، پردازش و توزیع هدفمند اطلاعات» استوار است تا ایمنی و بهره‌وری را ارتقا دهد (جامی‌پور و همکاران^{۱۵}، ۲۰۲۴: ص. ۴۵۲؛ نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹: ص. ۱۳۱). این سیستم‌ها با استفاده از فناوری اطلاعات، آلودگی‌ها را کاهش داده و خدمات ارزش افزوده‌ای فراهم می‌سازند (ژائو و همکاران^{۱۶}، ۲۰۲۰: ص. ۱۲؛ اولادیمجی و همکاران^{۱۷}، ۲۰۲۳: ص. ۱۷). معماری این سیستم‌ها بستری بهینه برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک فراهم می‌آورد (وانگ و همکاران^{۱۸}، ۲۰۲۴؛ بخشی‌سنجداری و دریاباری، ۱۳۹۹: ص. ۳۲). هدف بنیادین آن‌ها، بهبود بهره‌وری زیرساخت‌ها و کاهش وابستگی به خودروهای شخصی است (مائو و همکاران^{۱۹}، ۲۰۲۴). تحقق این اهداف مستلزم ترویج وسایل نقلیه غیرموتوری و حمل و نقل عمومی است (نسترن و همکاران، ۱۳۹۲).

برای تضمین اثربخشی و تداوم این اهداف در شرایط بحرانی و غیرمترقبه، سیستم حمل و نقل نیازمند پشتیبان‌های مستحکم است؛ از همین رو، تاب‌آوری، رکن اصلی پایداری حمل و نقل است که شامل توانایی سیستم جهت حفظ عملکرد در مواجهه با اختلالات در ابعاد سه‌گانه می‌شود (نیپا و کرمانشاهی، ۲۰۲۱: ص. ۳۰۴). از منظر زیست‌محیطی، از تشدید آلودگی‌های پس از بحران جلوگیری می‌کند (علی‌محمدی و همکاران، ۱۴۰۱: ص. ۴). در بعد اجتماعی، عدالت و امنیت عمومی را تقویت می‌نماید (آموآنینگ-یانکسون و همکاران^{۲۰}، ۲۰۱۷: ص. ۳۰؛ نیتوال و ورما^{۲۱}، ۲۰۲۲: ص. ۲۸۳) و در بعد اقتصادی، ثبات مالی شهر را تضمین می‌کند (خاقانی و جزی‌زاده، ۲۰۲۰). پایداری در این نظام، توازن میان اهداف راهبردی را بدون آسیب به نسل‌های آینده دنبال می‌کند (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵: ص. ۱۷). این مفهوم، تأمین نیازهای فعلی با کمترین

^۹ Petrolo et al

^{۱۰} Silva et al

^{۱۱} Lv & Shang

^{۱۲} Tamvakis & Xenidis

^{۱۳} Almatar

^{۱۴} Janušová, & Čičmancová

^{۱۵} Jami Pour et al

^{۱۶} Zhou et al

^{۱۷} Oladimeji et al

^{۱۸} Wang et al

^{۱۹} Mao et al

^{۲۰} Amoaning-Yankson, & Amekudzi-Kennedy

^{۲۱} Nitwal & Verma

فشار بر منابع آبی است (عامری و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۹) و مروج الگوهای است که دسترسی آسان و مهار آلاینده‌ها را در اولویت قرار می‌دهد (سلطانی و فلاح‌منشادی، ۱۳۹۲: ۴۹).

در این میان، پویایی هوشمند که هوش مصنوعی را با اینترنت اشیاء و تحلیل کلان‌داده‌ها یکپارچه می‌سازد، جابه‌جایی بی‌وقفه را تسهیل می‌کند (دولگویی و ایوانوف، ۲۰۲۱). این پویایی، اختلالات ناشی از احتقان و تصادفات را خنثی کرده و تاب‌آوری سیستم‌ها را افزایش می‌دهد. چالش‌هایی نظیر انفجار جمعیت و آلودگی‌ها، پایداری زیرساخت‌های سنتی را تهدید می‌کنند (پورجوان، ۱۳۹۸: ص. ۲۵؛ کاندوگان و جانسون^{۲۲}، ۲۰۱۶: ص. ۷۱۲). ضرورت سیستم‌های هوشمند، ایجاد شبکه‌ای انطباق‌پذیر در برابر شوک‌ها و تغییرات اقلیمی است (نسیم و کاسلر، ۲۰۱۲). این سیستم‌ها با مدیریت داده‌ها، قابلیت پیش‌بینی و بازیابی شبکه را افزایش می‌دهند (جیانگ و همکاران^{۲۳}، ۲۰۱۶: ص. ۹۳؛ محمدرضاپور، ۱۴۰۱: ص. ۲۲) و با تکیه بر ارکان پایداری، ایمنی و یکپارچگی، بستر بقای عملکردی شهر را در شرایط بحرانی فراهم می‌سازند (گوئررو-ایبانز و همکاران^{۲۴}، ۲۰۱۵: ص. ۱۲۳).

شهر اهواز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای استراتژیک در جنوب غرب ایران، هم‌اکنون با تلاقی بحران‌های متعددی در شبکه حمل‌ونقل روبروست؛ فرسودگی مفرط زیرساخت‌های فعلی، رشد بی‌رویه جمعیت و افزایش نرخ مالکیت خودروهای شخصی، کارایی سیستم‌های سنتی جابه‌جایی را با اختلال جدی مواجه ساخته است. در کنار این چالش‌های کالبدی، مواجهه مکرر با بحران‌های زیست‌محیطی (نظیر آلودگی‌های مداوم هوا و تغییرات اقلیمی) و فقدان یک سیستم پایش لحظه‌ای و هوشمند، تاب‌آوری زیست‌شهری را به‌شدت کاهش داده و تداوم توسعه پایدار را در این بستر با مخاطره مواجه کرده است. گسست موجود میان نیازمندی‌های ترددی شهروندان و ظرفیت‌های فعلی مدیریت شهری، نشان‌گر ناکارآمدی رویکردهای سنتی در مواجهه با فشارهای ناگهانی است. بر همین اساس، این پژوهش با هدف گذار از وضعیت موجود و با نگاه به افق‌های آینده، ضرورت استقرار «حمل‌ونقل هوشمند» را نه‌تنها به‌عنوان یک الزام تکنولوژیک، بلکه به مثابه پیش‌شرطی حیاتی برای ارتقای تاب‌آوری سیستم‌های شهری اهواز در برابر شوک‌های آبی و تحقق الگوی زیست‌پذیر و پایدار دنبال می‌کند.

مرور پیشینه‌های پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات داخلی و خارجی طی سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به پیوند میان هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری، تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی و توسعه پایدار شهری داشته‌اند. هاشمی و همکاران (۱۴۰۴ و ۱۴۰۵) با تمرکز بر شهر کرمانشاه نشان دادند که هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری رابطه‌ای معنادار با افزایش تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی دارد و متغیرهایی نظیر شاخص‌های مدیریتی، اقتصادی و زیرساخت‌های تاب‌آور شهری از مهم‌ترین عوامل اثرگذار محسوب می‌شوند. همچنین نتایج آینده‌پژوهی آنان بیانگر آن است که عوامل محیطی و زیرساختی نظیر پیاده‌روهای مسقف، نقش پیشران اصلی در توسعه تاب‌آوری شهری دارند و استقرار فناوری‌های هوشمند نیازمند بسترسازی کالبدی و مدیریتی مناسب است. طه غائب و همکاران (۱۴۰۵) نیز در تحلیل آینده‌پژوهی توسعه پایدار شهر

^{۲۲} Kandogan & Johnson

^{۲۴} Guerrero-Ibanez et al

^{۲۳} Giang et al

کرکوک، پیشران‌هایی مانند مدیریت کارآمد، قوانین توسعه پایدار، بازآفرینی شهری و اعتماد شهروندان را به‌عنوان عوامل کلیدی توسعه شهری معرفی کردند. احدنژاد روشتی و همکاران (۱۴۰۵) نیز در پژوهشی با رویکرد آینده‌پژوهی در شهر زنجان، عوامل قانونی، نحوه‌ی مکان‌یابی و هماهنگی‌های نهادی را از پیشران‌های اصلی تحقق‌پذیری کاربری‌های خدماتی دانستند و بر ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوینی نظیر GIS برای دستیابی به توسعه پایدار و عدالت فضایی تأکید کردند. و طهماسبی مقدم و رسول‌زاده (۱۴۰۴) با بررسی شهر زنجان نشان دادند که مؤلفه‌های هوشمندسازی، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل و مدیریت داده، رابطه‌ای مستقیم و مثبت با ارتقای تاب‌آوری شهری دارند و به‌عنوان متغیرهایی کلیدی در افزایش ظرفیت‌های سازگاری شهر در برابر مخاطرات محیطی عمل می‌کنند. در همین راستا، رمضان‌زاده و شکیبایی‌فر (۱۴۰۱)، بخشی سنج‌داری و دریاباری (۱۳۹۹) و شمس نجفی و همکاران (۱۴۰۱) تأکید کرده‌اند که سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، زیرساخت‌های هوشمند و حکمروایی شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق توسعه پایدار، بهبود کیفیت زندگی، کاهش آسیب‌های محیطی و ارتقای کارایی شبکه‌های شهری دارند. همچنین پژوهش‌های علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۱) و آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که ابعاد مدیریتی، فناوری اطلاعات و برنامه‌ریزی راهبردی از عوامل اساسی ارتقای تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل شهری به شمار می‌روند.

در مطالعات خارجی نیز بر اهمیت فناوری‌های نوین و رویکردهای آینده‌پژوهانه در افزایش تاب‌آوری سیستم‌های حمل‌ونقل تأکید شده است. علی^{۲۵} (۲۰۲۶) در پژوهش خود نشان داد که به‌کارگیری فناوری دوقلوی دیجیتال در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، از طریق نگهداری پیش‌بینانه و بهینه‌سازی بلادرنگ ترافیک، موجب بهبود کارایی، کاهش آلاینده‌ها و ارتقای پایداری محیط‌زیست شهری می‌شود و یحیی و همکاران^{۲۶} (۲۰۲۵) نیز اثبات کردند که پیاده‌سازی استراتژی‌های توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) در ایستگاه‌های مترو، با کاهش وابستگی به خودروهای شخصی و تقویت سامانه‌های متصل، نقشی استراتژیک در پایداری اکوسیستم شهری و کنترل انتشار آلاینده‌ها ایفا می‌کند. ماگتو و همکاران (۲۰۲۴) آینده‌نگری و قابلیت پیش‌بینی اختلالات را مهم‌ترین عامل محرک تاب‌آوری در حمل‌ونقل هوشمند معرفی کرده و نقش هوش مصنوعی و قابلیت‌های پویا را در مدیریت بحران‌های شهری برجسته ساخته‌اند. فنگ و همکاران^{۲۷} (۲۰۲۳) نیز نشان دادند که استفاده از فناوری‌هایی نظیر دوقلوهای دیجیتال، بلاکچین و الگوریتم‌های هوشمند می‌تواند موجب افزایش کارایی و کاهش سربار ارتباطی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری شود و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی را به شکل قابل توجهی ارتقا دهد. از سوی دیگر، ژو و همکاران^{۲۸} (۲۰۲۳) با بهره‌گیری از نظریه گراف و تحلیل شبکه‌های پیچیده، بیان کردند که تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل علاوه بر ویژگی‌های زیرساختی، به الگوهای جریان ترافیک و رفتار کاربران نیز وابسته است. با وجود ارزشمندی مطالعات پیشین، اغلب پژوهش‌ها یا بر ابعاد فنی هوشمندسازی تمرکز داشته‌اند و یا صرفاً به تحلیل تاب‌آوری و توسعه پایدار پرداخته‌اند. از این‌رو، نوآوری پژوهش حاضر در تلفیق سه‌گانه «هوشمندسازی، تاب‌آوری و پایداری» با رویکرد آینده‌پژوهی و سناریونویسی در بستر کلان‌شهر اهواز است؛ به‌گونه‌ای

^{۲۵} Ali et al

^{۲۶} Yahia et al

^{۲۷} Feng et al

^{۲۸} Zhou et al

که تلاش می‌شود ضمن بومی‌سازی شاخص‌های تاب‌آوری هوشمند، نقش فناوری‌های نوین به‌عنوان محرک اصلی سازگاری و خودتنظیمی سیستم حمل‌ونقل شهری در مواجهه با بحران‌های آینده تبیین گردد.

بر همین اساس و با توجه به ضرورت‌های مطرح‌شده، پژوهش حاضر با هدف «آینده‌پژوهی نقش حمل‌ونقل هوشمند بر تاب‌آوری توسعه پایدار شهری در کلان‌شهر اهواز» شکل گرفته است. اهواز به دلیل مواجهه با چالش‌های درهم‌تنیده‌ای نظیر فرسودگی زیرساخت‌های ارتباطی، رشد شتابان جمعیت، معضلات ترافیکی و شرایط خاص و شکننده اقلیمی، بیش از پیش نیازمند اتخاذ رویکردهای آینده‌نگرانه است. از این‌رو، این مطالعه در تلاش است تا با بهره‌گیری از دانش آینده‌پژوهی، عدم قطعیت‌ها و پیشران‌های کلیدی مؤثر بر سیستم حمل‌ونقل این کلان‌شهر را شناسایی کرده و سناریوهای محتمل پیش‌رو را ترسیم نماید. هدف نهایی آن است که نشان داده شود چگونه استقرار یک سامانه پویایی هوشمند می‌تواند ظرفیت‌های انطباق‌پذیری این شهر را ارتقا داده و مسیر دستیابی به توسعه‌ای پایدار و تاب‌آور را در برابر شوک‌ها و بحران‌های آتی هموار سازد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد آینده‌پژوهی است که به واکاوی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر آینده نقش حمل‌ونقل هوشمند در تاب‌آوری توسعه پایدار کلان‌شهر اهواز در افق ۱۴۱۵ اختصاص یافته است. در گام نخست، ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط با این حوزه در قالب ۶ بعد اصلی (کالبدی، فناوری، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و نهادی) و ۳۵ زیرشاخص از منابع علمی معتبر و متون تخصصی استخراج گردید؛ سپس روایی محتوایی این شاخص‌ها از طریق تکنیک دلفی نخبگان توسط گروهی از متخصصان با موفقیت مورد تأیید قرار گرفت. جامعه آماری این پژوهش شامل ۵۰ نفر از کارشناسان ارشد، مدیران شهری و نخبگان دانشگاهی مسلط به حوزه‌های حمل‌ونقل هوشمند و برنامه‌ریزی شهری در شهر اهواز است که با استناد به قانون راسکو (کفایت حجم نمونه بین ۳۰ تا ۵۰۰ نفر) و به شیوه نمونه‌گیری هدفمند (گلوله برفی) انتخاب شدند.

سپس، به‌منظور شناسایی متغیرهای استراتژیک و تحلیل ساختاری، پرسشنامه ماتریس اثرات متقاطع تدوین و در اختیار نمونه آماری قرار گرفت. در این ابزار، متخصصان میزان ارتباط و قدرت تأثیرگذاری متقابل پیشران‌ها را به‌صورت مقایسه زوجی و بر اساس طیف عددی صفر تا سه (۰: بدون تأثیر، ۱: ضعیف، ۲: متوسط، ۳: زیاد) امتیازدهی کردند. تحلیل خروجی این ماتریس با استفاده از نرم‌افزار MICMAC، منجر به شناسایی و رتبه‌بندی پیشران‌های کلیدی و اولویت‌های استراتژیک در مسیر تحقق تاب‌آوری پایدار شهری اهواز گردید. نتایج تفصیلی شاخص‌های منتخب و ابعاد سنجش در قالب جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱). شاخص‌های کلیدی مؤثر بر آینده حمل‌ونقل هوشمند در تاب‌آوری توسعه پایدار شهری در افق ۱۴۲۰

کد	زیرشاخص	شاخص	بعد
PHY1	مقاومت سازه‌ای در برابر مخاطرات اقلیمی	استحکام و پایداری شبکه	کالبدی و زیرساختی
PHY2	توسعه زیرساخت‌های پیاده‌مدار و مسیرهای مسقف ایمن		
PHY3	افزونگی شبکه	ظرفیت و جایگزینی	

PHY4	توزیع هندسی بهینه گره‌ها برای جلوگیری از احتقان ترافیکی		(تاب‌آوری
PHY5	استقرار حسگرهای اینترنت اشیاء در نقاط گلوگاهی	تجهیزات هوشمند و تسهیلات	سخت‌افزاری)
PHY6	توسعه ایستگاه‌های چندوجهی و مراکز تبادل سفر		
TEC1	تحلیل پیش‌دستانه با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی	آینده‌نگری و پیش‌بینی	فناوری و
TEC2	بهره‌گیری از دوقلوهای دیجیتال برای شبیه‌سازی بحران		عملیاتی
TEC3	ارتباطات هوشمند میان وسیله نقلیه و زیرساخت	مدیریت داده و یکپارچگی	(پویایی
TEC4	ارتقای سرعت بازیابی سیستم پس از اختلال		هوشمند)
TEC5	سامانه اطلاع‌رسانی بلادرنگ ترافیکی به کاربران	خدمات هوشمند شهروندی	
TEC6	یکپارچگی پرداخت الکترونیک و حذف توقف‌های فیزیکی		
ECO1	تقلیل هزینه‌های پنهان شهری	بهره‌وری و رقابت‌پذیری	بعد اقتصادی
ECO2	افزایش جذابیت و امنیت زیرساخت‌ها جهت جلب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی		
ECO3	میزان درآمد حاصل از عوارض هوشمند ترافیکی و بازگشت سرمایه در زیرساخت‌ها	بهره‌وری لایه لجستیک و مالی شهری	
ECO4	تعداد پلتفرم‌های فعال توزیع کالا و میزان کاهش هزینه نهایی حمل‌ونقل کالا		
ECO5	نرخ رشد قیمت معاملات یا اجاره‌بها در مناطق مجهز به زیرساخت هوشمند		
ENV1	بهینه‌سازی مسیرهای تردد در جهت کربن‌زدایی و مهار آلاینده‌های جوی	کیفیت محیط‌زیست و انرژی	بعد زیست‌محیطی
ENV2	توسعه ایستگاه‌های شارژ برقی و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با پویایی پاک		
ENV3	نرخ کاهش تراز دسی‌بل در مناطق مسکونی در ساعات پیک	پایداری اکوسیستم و پویایی پاک	
ENV4	نسبت سفرهای انجام شده با دوچرخه به کل سفرهای شهری		
ENV5	تعداد گره‌های ترافیکی مجهز به سنسور سرعت واکنش در تغییر مسیرها		
SOC1	تضمین دسترسی‌پذیری شبکه برای سالمندان، معلولان و گروه‌های کم‌درآمد	عدالت و شمول اجتماعی	بعد اجتماعی
SOC2	توزیع متوازن و عادلانه فناوری‌های هوشمند در مناطق حاشیه‌ای و کم‌برخوردار		
SOC3	تعداد گزارش‌های مردمی ثبت شده در سامانه و درصد موارد رفع شده		
SOC4	مساحت کل فضاهای پارکینگ تبدیل شده به پیاده‌راه یا فضای سبز شهری		
SOC5	درصد استفاده شهروندان از یک کارت بلیت واحد برای تمامی ناوگان حمل‌ونقل		
INS1	تدوین چارچوب‌های قانونی، نظام‌نامه‌های حقوقی و حفظ حریم خصوصی داده‌ها	حکمرانی و سرمایه اجتماعی	بعد نهادی و مدیریتی
INS2	ارتقای آموزش، سواد دیجیتال و پذیرش فناوری‌های نوین توسط شهروندان		
INS3	تعداد مجموعه داده‌های منتشر شده در پورتال باز شهرداری	حکمرانی هوشمند و شفافیت داده‌محور	
INS4	تعداد پروتکل‌های مشترک اجرایی میان پلیس، شهرداری و شرکت‌های خدماتی		
INS5	میزان انحراف از اهداف برنامه‌های توسعه هوشمند در داشبوردهای مدیریتی		
INS6	قابلیت اولویت‌دهی هوشمند به ناوگان امدادی		

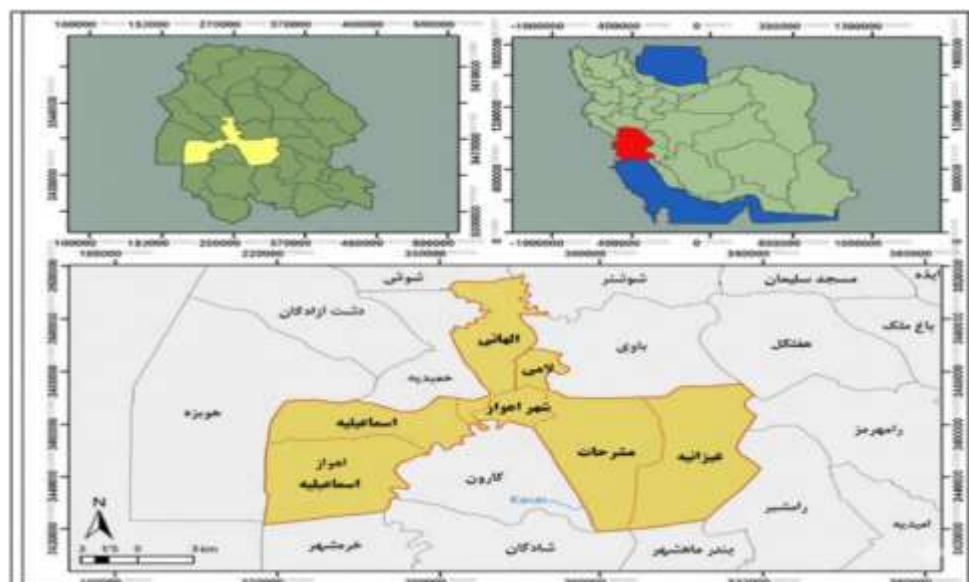
ایمنی و امنیت عمومی	تقویت تاب‌آوری سایبری	INS7
	امنیت شبکه در برابر تهدیدات و نفوذ دیجیتال	INS8

منبع: (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۵؛ طه غائب و همکاران، ۱۴۰۵؛ بخشی سنجدری و دریاباری، ۱۳۹۹؛ نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ماگتو و همکاران، ۲۰۲۴؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۳؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۱۸).

نرم‌افزار میک‌مک^{۲۹} با تحلیل ماتریس اثرات متقاطع که توسط متخصصان امتیازدهی می‌شود، به شناسایی و رتبه‌بندی متغیرهای کلیدی یک سیستم می‌پردازد. این ابزار از طریق شفاف‌سازی روابط میان مؤلفه‌ها، نقشی حیاتی در سیاست‌گذاری‌های استراتژیک و سناریوپردازی آینده ایفا می‌کند. (حسینی سیاه‌گلی و همکاران، ۱۴۰۲).

۲-۱. قلمرو جغرافیایی پژوهش

شهر اهواز به عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز شهرستان اهواز و استان خوزستان از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در جلگه‌ای با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا قرار گرفته است و بر اساس آخرین آمار شهر اهواز دارای ۱,۳۰۲,۵۹۱ نفر جمعیت بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). دارای ۸ منطقه شهری، ۳۴ ناحیه و ۱۲۴ محله می‌باشد (معاونت برنامه ریزی شهری اهواز، ۱۳۹۶: ۶). شکل ۱ بیانگر محدوده جغرافیایی شهر اهواز می‌باشد.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی شهر اهواز.

منبع: کریمی حاتمی، ۱۴۰۵: ص. ۲۳۳

۳. یافته‌های پژوهش

پژوهش حاضر در پی آن است تا با استفاده از متدولوژی‌های کلیدی آینده‌پژوهی، عوامل حیاتی مؤثر بر پیوند میان حمل‌ونقل هوشمند و تاب‌آوری پایدار شهر اهواز را استخراج نماید. در گام نخست، برای شناسایی متغیرهای اولیه، ترکیبی از مطالعات اسنادی (پیشینه نظری) و روش دلفی با مشارکت متخصصین، اساتید جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، و کارشناسان

حوزه حمل و نقل و مدیریت شهری به کار گرفته شد. در این مرحله، داده‌های کیفی از طریق مصاحبه‌های عمیق و پرسشنامه‌های تشریحی جمع‌آوری و پس از تحلیل محتوا، متغیرهای نهایی استخراج گردید. سپس به منظور سنجش میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها و شناسایی پیشران‌های راهبردی، از تحلیل ماتریس اثرات متقاطع در نرم‌افزار Micmac استفاده شد. پس از تشکیل ماتریس اولیه مبتنی بر نظرات کارشناسان و تعیین ابعاد آن (ماتریس 35×35)، ویژگی‌های عمومی و شاخص‌های پایداری سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت تا بر اساس آن، سناریوهای محتمل برای آینده تاب‌آوری شهری اهواز تحت تأثیر فناوری‌های هوشمند حمل و نقل ترسیم شود. بر اساس یافته‌های حاصل از نرم‌افزار Micmac، شاخص پرشدگی ماتریس اثرات متقاطع معادل ۸۶ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده پیوستگی سیستمی و تعاملات سطح بالای میان روندهاست. از میان ۱۰۶۱ رابطه تحلیل شده، ۱۶۴ مورد فاقد اثر، ۱۷۳ مورد دارای اثرگذاری ضعیف، ۵۱۹ مورد با تأثیر میان‌رده و ۳۶۹ رابطه نیز در سطح اثرگذاری قوی طبقه‌بندی شدند. شایان ذکر است که ماتریس نهایی پس از دو مرحله چرخش داده‌ای، به پایداری و بهینه‌گی ۱۰۰ درصدی دست یافت که این امر تأییدکننده روایی مطلوب ابزار پژوهش و قابلیت اعتماد بالای پرسش‌نامه است.

جدول (۲). ویژگی‌های تأثیرات مستقیم^{۳۰}

شاخص	مقدار
ابعاد ماتریس	۳۵
تعداد تکرار	۲
تعداد صف‌ها (بدون تأثیر)	۱۶۴
تعداد یک‌ها (تأثیر ضعیف)	۱۷۳
تعداد دوها (تأثیر متوسط)	۵۱۹
تعداد سه‌ها (تأثیر زیاد)	۳۶۹
مجموع	۱۰۶۱
میزان پرشدگی خانه‌ها	٪۸۶/۶۱

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۵

یافته‌های حاصل از تحلیل اثرات متقاطع در نرم‌افزار میک‌مک نشان می‌دهد که ۳۵ رونده مورد مطالعه بر اساس ماهیت اثرگذاری و جایگاهشان در صفحه پراکندگی، در دسته‌های مشخصی طبقه‌بندی شده‌اند. این صفحه در یک تحلیل کلی، ساختار سیستم را در دو وضعیت پایدار و ناپایدار ترسیم می‌کند؛ در وضعیت پایدار، متغیرها در قالب سه گروه "عوامل کلیدی و بسیار تأثیرگذار"، "متغیرهای مستقل" و "متغیرهای خروجی یا نتیجه" انتظام یافته‌اند، در حالی که ساختار ناپایدار سیستم، طیف متنوع‌تری از متغیرها شامل عوامل "تأثیرگذار"، "دو وجهی"، "تأثیرپذیر"، "مستقل" و "تنظیم‌کننده" را در بر می‌گیرد که تعاملات پیچیده سیستم را بازنمایی می‌کنند.

الف- متغیرهای تأثیرگذار (تعیین کننده): بر اساس تحلیل نرم افزار میک مک، مهم ترین پیشران های مؤثر بر آینده تاب آوری شهر اهواز، متغیرهای اجتماعی و محیطی هستند. در این میان، «مشارکت شهروندی و گزارش های مردمی» (SOC3) با اختلاف بسیار زیاد، و پس از آن «تضمین دسترسی پذیری برای گروه های آسیب پذیر» (SOC1) و «کاهش آلودگی صوتی» (ENV3)، کلیدی ترین عوامل تعیین کننده شناخته شدند. این یافته نشان می دهد که تاب آوری هوشمند در شهر اهواز بیش از آنکه صرفاً یک موضوع فنی یا زیرساختی باشد، به شدت تحت تأثیر «عدالت اجتماعی» و «بازخورد لحظه ای شهروندان» قرار دارد؛ به گونه ای که مشارکت مردمی و دسترسی پذیری شبکه، موتورهای محرک اصلی برای رسیدن به یک شهر تاب آور و پایدار در برابر چالش های آتی محسوب می شوند و سیاست گذاری ها باید بر تقویت این زیرساخت های اجتماعی و پایش های محیطی متمرکز گردند.

جدول (۳). اثرات متقاطع متغیرهای تأثیرگذار بر اساس ماتریس MDI و MII

رتبه	خالص مستقیم	تأثیرپذیر	تأثیرگذار	زیر شاخص ها	نماد	بعد
۲	۸۲	۲۳۷	۳۱۹	تضمین دسترسی پذیری شبکه برای سالمندان، معلولان و گروه های کم درآمد	SOC1	بعد اجتماعی
۱	۱۴۷	۱۸۹	۳۳۶	تعداد گزارش های مردمی ثبت شده در سامانه و درصد موارد رفع شده	SOC3	
۵	۴	۲۷۶	۲۸۰	مساحت کل فضاهای پارکینگ تبدیل شده به پیاده راه یا فضای سبز شهری	SOC4	
۴	۶۹	۲۲۴	۲۹۳	افزایش جذابیت و امنیت زیرساخت ها جهت جلب سرمایه گذاری بخش خصوصی	ECO2	بعد اقتصادی
۳	۷۳	۱۹۸	۲۷۱	نرخ کاهش تراز دسی بل در مناطق مسکونی در ساعات پیک	ENV3	بعد زیست محیطی

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۵

متغیرهای دوجویی: تحلیل اثرات متقاطع متغیرهای دوجویی بر اساس جدول (۴) نشان می دهد که تحلیل متغیرهای دوجویی، که همزمان اثرگذاری و اثرپذیری بالایی دارند، نشان می دهد که «استقرار حسگرهای اینترنت اشیاء» و «سامانه های اطلاع رسانی بلادرنگ» مهم ترین محرک های فنی برای تاب آوری شهر اهواز هستند. در مقابل، «امنیت سایبری و دیجیتالی» و «پایش گره های ترافیکی» بیشترین تأثیرپذیری را داشته و به عنوان گلوگاه های حساس و پرریسک سیستم عمل می کنند. نتیجه کلیدی این است که آسیب پذیری بحرانی تاب آوری اهواز در افق ۱۴۲۰، «پایداری امنیت دیجیتالی» و «دقت حسگرهای محیطی» است؛ زیرا این دو عامل به شدت تحت تأثیر نوسانات کل سیستم قرار داشته و در صورت عدم مدیریت صحیح، به نقاط شکست اصلی در زمان بحران تبدیل خواهند شد.

جدول (۴). اثرات متقاطع متغیرهای دوجویی بر اساس ماتریس MDI و MII

رتبه	خالص مستقیم	تأثیرپذیر	تأثیرگذار	زیر شاخص ها	کد	نماد
۵	۴۷	۳۶۶	۳۱۹	مقاومت سازه ای در برابر مخاطرات اقلیمی	PHY1	۵

۱۰	-۲۱	۳۱۹	۳۴۰	توسعه زیرساخت‌های پیاده‌مدار و مسیرهای مسقف ایمن	PHY2	فناوری و عملیاتی
۳	۵۶	۳۱۹	۲۶۳	افزونی شبکه	PHY3	
۱۳	-۴۳	۳۰۶	۳۴۹	توزیع هندسی بهینه گره‌ها برای جلوگیری از احتقان ترافیکی	PHY4	
۱	۱۳۴	۳۸۳	۲۴۹	استقرار حسگرهای اینترنت اشیاء در نقاط گلوگاهی	PHY5	
۶	۳۱	۳۳۲	۳۰۱	توسعه ایستگاه‌های چندوجهی و مراکز تبادل سفر	PHY6	
۸	-۵	۲۸۴	۲۸۹	ارتباطات هوشمند میان وسیله نقلیه و زیرساخت	TEC3	فناوری و عملیاتی
۶	۳۱	۳۴۵	۳۱۴	ارتقای سرعت بازیابی سیستم پس از اختلال	TEC4	
۲	۶۰	۳۴۰	۲۸۰	سامانه اطلاع‌رسانی بلادرنگ ترافیکی به کاربران	TEC5	
۴	۵۲	۳۱۰	۲۵۸	یکپارچگی پرداخت الکترونیک و حذف توقف‌های فیزیکی	TEC6	
۱۵	-۶۰	۲۹۳	۳۵۳	تقلیل هزینه‌های پنهان شهری	ECO1	بعد اقتصادی
۱۲	-۲۶	۲۸۰	۳۰۶	میزان درآمد حاصل از عوارض هوشمند ترافیکی و بازگشت سرمایه	ECO3	
۱۴	-۵۱	۲۷۶	۳۲۷	تعداد پلتفرم‌های فعال توزیع کالا و میزان کاهش هزینه نهایی حمل‌ونقل کالا	ECO4	
۷	۲۲	۳۱۹	۲۹۷	نرخ رشد قیمت معاملات یا اجاره‌بها در مناطق مجهز به زیرساخت هوشمند	ECO5	
۸	۰	۲۸۹	۲۸۹	توسعه ایستگاه‌های شارژ برقی و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با پویایی پاک	ENV2	بعد زیست‌محیطی
۱۹	-۹۰	۲۷۶	۳۶۶	تعداد گره‌های ترافیکی مجهز به سنسور و سرعت واکنش در تغییر مسیرها	ENV5	
۵	۵۱	۳۱۴	۲۶۳	توزیع متوازن و عادلانه فناوری‌های هوشمند در مناطق حاشیه‌ای	SOC2	بعد اجتماعی
۱۶	-۶۱	۲۲۸	۲۸۹	درصد استفاده شهروندان از یک کارت بلیت واحد برای تمامی ناوگان حمل‌ونقل	SOC5	
۱۱	-۲۵	۲۷۶	۳۰۱	تدوین چارچوب‌های قانونی، نظام‌نامه‌های حقوقی و حفظ حریم خصوصی	INS1	بعد نهادی و مدیریتی
۹	-۵	۲۸۴	۲۸۹	ارتقای آموزش، سواد دیجیتال و پذیرش فناوری‌های نوین توسط شهروندان	INS2	
۵	۴۷	۳۲۳	۲۷۶	تعداد پروتکل‌های مشترک اجرایی میان پلیس، شهرداری و شرکت‌های خدماتی	INS4	
۷	۲۲	۲۹۳	۲۷۱	میزان انحراف از اهداف برنامه‌های توسعه هوشمند در داشبوردهای مدیریتی	INS5	
۱۸	-۸۶	۲۶۷	۳۵۳	تقویت تاب‌آوری سایبری	INS7	
۱۷	-۶۵	۲۷۱	۳۳۶	امنیت شبکه در برابر تهدیدات و نفوذ دیجیتال	INS8	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵

متغیرهای تنظیمی: تحلیل متغیرهای تنظیمی نشان می‌دهد که این شاخص‌ها نقش «تعدیل‌کننده» و «کاتالیزور» را در سیستم تاب‌آوری شهر اهواز ایفا می‌کنند. شاخص‌های مرتبط با «پویایی پاک»، مانند ترویج حمل‌ونقل با دوچرخه و اسکوتر برقی، مهم‌ترین نمونه از این متغیرها هستند. این عوامل با تغییر الگوی رفتاری سفرهای شهری، به ایجاد تعادل در سیستم و پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کنند. در نهایت، آن‌ها با کاهش فشار بر زیرساخت‌های سخت‌افزاری، انعطاف‌پذیری شهر را در برابر انسدادهای احتمالی شبکه افزایش می‌دهند.

جدول (۵). اثرات متقاطع متغیرهای تنظیمی بر اساس ماتریس MDI و MII

رتبه	خالص مستقیم	تأثیرپذیر	تأثیرگذار	زیر شاخص‌ها	نماد	بعد
۱	-۲۶	۲۷۶	۲۵۰	نسبت سفرهای انجام شده با دوچرخه به کل سفرهای شهری	ENV4	بعد زیست‌محیطی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵

متغیرهای تأثیرپذیر: تحلیل اثرات متقاطع نشان می‌دهد متغیرهای این بخش در ناحیه چهارم قرار دارند و دارای «اثرپذیری زیاد» و «اثرگذاری کم» هستند؛ بنابراین بیشتر به عنوان خروجی‌های سیستم عمل می‌کنند. در ارزیابی اثرگذاری مستقیم، متغیر TEC1 (تحلیل پیش‌دستانه با الگوریتم‌های هوش مصنوعی) با خالص اثرگذاری ۱۱۲- در رتبه نخست قرار دارد. همچنین متغیرهای ENV1 (کربن‌زدایی و مهار آلاینده‌ها) و INS3 (شفافیت داده‌ها در پورتال شهرداری) با خالص اثرگذاری ۱۵۱- بیشترین میزان تأثیرپذیری را دارند. این نتایج نشان می‌دهد تحقق اهدافی مانند کاهش آلاینده‌گی و شفافیت داده‌ای در اهواز وابسته به عملکرد موفق پیشران‌های کالبدی و اقتصادی حمل‌ونقل هوشمند است.

جدول (۶). اثرات متقاطع متغیرهای تأثیرپذیر بر اساس ماتریس MDI و MII

رتبه	خالص مستقیم	تأثیرپذیر	تأثیرگذار	زیر شاخص‌ها	نماد	بعد
۱	-۱۱۲	۳۱۰	۱۹۸	تحلیل پیش‌دستانه با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی	TEC1	فناوری و عملیاتی
۲	-۱۵۱	۳۴۰	۱۸۹	بهینه‌سازی مسیرهای تردد در جهت کربن‌زدایی و مهار آلاینده‌های جوی	ENV1	بعد زیست‌محیطی
۲	-۱۵۱	۳۰۶	۱۵۵	تعداد مجموعه داده‌های منتشر شده در پورتال باز شهرداری	INS3	بعد نهادی و مدیریتی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵

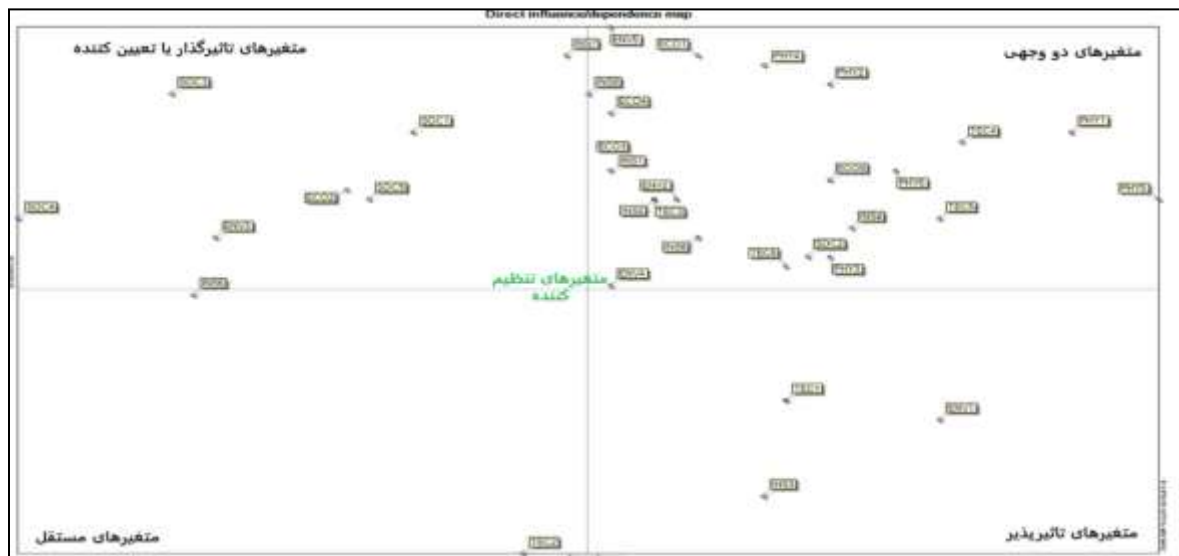
متغیرهای مستقل: تحلیل اثرات متقاطع نشان می‌دهد متغیرهای مستقل در ناحیه پنجم صفحه پراکندگی قرار دارند و از نظر اثرگذاری و اثرپذیری، نقش محدودی در سیستم تاب‌آوری شهری اهواز دارند. در این گروه، متغیر INS6 (اولویت‌دهی هوشمند به ناوگان امدادی) با امتیاز خالص ۵۱ بیشترین اثرگذاری مستقیم را داشته و بیانگر نقش عملیاتی آن در مدیریت بحران است. در مقابل، متغیر TEC2 (استفاده از دوقلوهای دیجیتال برای شبیه‌سازی بحران) با امتیاز ۱۲۹- کمترین شدت اثرگذاری را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که فناوری‌هایی مانند دوقلوهای دیجیتال، با وجود ظرفیت بالا، هنوز در ساختار مدیریت شهری اهواز به چرخه اصلی تصمیم‌سازی و تاب‌آوری متصل نشده‌اند.

جدول (۷). اثرات متقاطع متغیرهای مستقل بر اساس ماتریس MDI و MII

رتبه	خالص مستقیم	تأثیرپذیر	تأثیرگذار	زیر شاخص‌ها	نماد	بعد
۲	-۱۲۹	۲۵۸	۱۲۹	بهره‌گیری از دوقلوهای دیجیتال برای شبیه‌سازی بحران	TEC2	فناوری و عملیاتی
۱	۵۱	۱۹۴	۲۴۵	قابلیت اولویت‌دهی هوشمند به ناوگان امدادی	INS6	بعد نهادی و مدیریتی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵

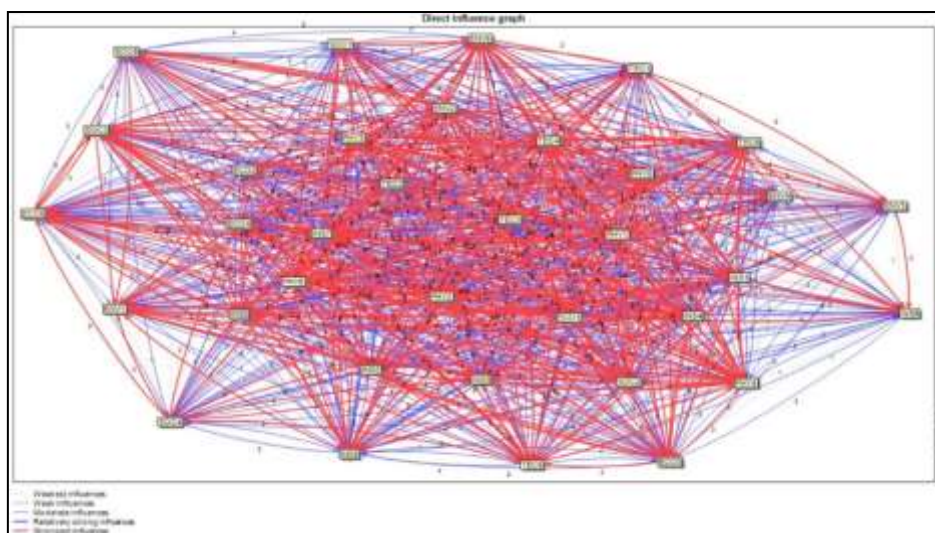
در تحلیل اثرات متقاطع، نحوه پراکنش متغیرها نشان‌دهنده وضعیت ساختاری سیستم است. اگر متغیرها به شکل L و در امتداد محورهای افقی و عمودی توزیع شوند، سیستم پایدار بوده و مرز میان عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر مشخص است. در مقابل، تمرکز متغیرها حول محور قطری بیانگر ناپایداری سیستم و پیچیدگی بالای روابط میان متغیرهاست. در این شرایط، متغیرها هم‌زمان اثرگذاری و اثرپذیری بالایی دارند و پیش‌بینی رفتار آینده سیستم دشوار می‌شود.



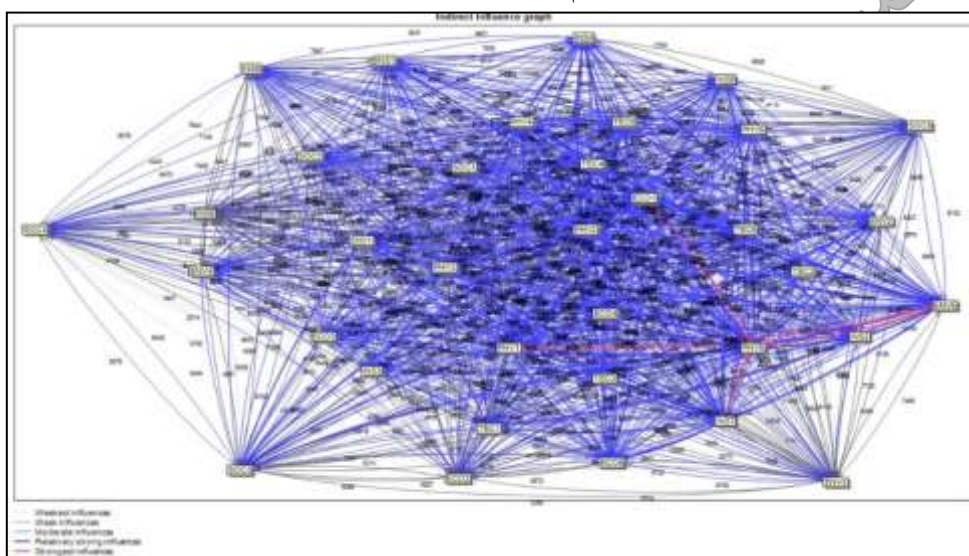
شکل (۲). نمودار پراکنش متغیرها در محور تأثیرگذاری- تأثیرپذیری بر اساس تأثیرات مستقیم

منبع: نگارنده، ۱۴۰۵

بر اساس شکل (۲) تحلیل پراکنش متغیرها، ۳۵ متغیر استراتژیک را در پنج ناحیه عملیاتی دسته‌بندی می‌کند. متغیرهای ربع اول مانند تاب‌آوری سایبری، پایش هوشمند گره‌ها و بهره‌وری اقتصادی، مهم‌ترین پیشران‌های تاب‌آوری توسعه پایدار اهواز تا افق ۱۴۲۰ هستند. متغیرهای ربع دوم نظیر INS8 و ECO4 ماهیتی دووجهی و ناپایدار دارند و هم‌زمان اثرگذار و اثرپذیرند. همچنین شاخص‌های کالبدی و زیرساختی در ربع چهارم نشان می‌دهند استحکام فیزیکی شهر به حکمرانی هوشمند و فناوری‌های داده‌محور وابسته است. ربع سوم و پنجم نیز بر ضرورت بازنگری در سیاست‌های آموزشی و ارتباطی برای حرکت از مدیریت واکنشی به رویکرد پیش‌دستانه تأکید دارند. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد تاب‌آوری کالبدی اهواز بدون تقویت زیرساخت‌های سایبری، نظارت برخط و امنیت داده، همچنان شکننده و وابسته باقی خواهد ماند.



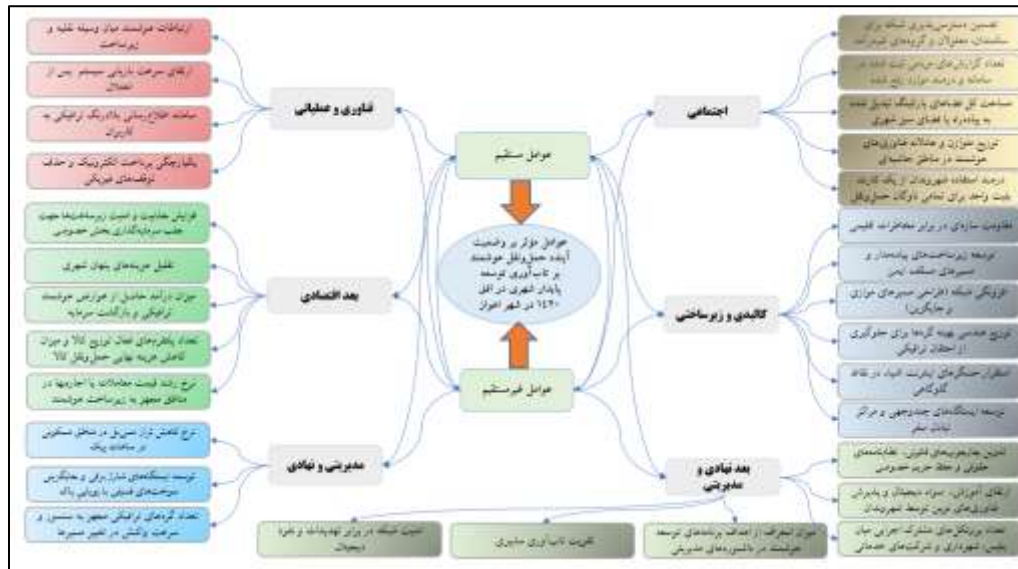
شکل (۳). تأثیرگذاری مستقیم متغیرها با پوشش ۱۰۰ درصد و روابط بین آنها



شکل (۴). تأثیرپذیری مستقیم متغیرها با پوشش ۱۰۰ درصد و روابط بین آنها

تحلیل گراف‌های خروجی نرم‌افزار میک‌مک در خصوص آینده‌پژوهی نقش حمل‌ونقل هوشمند بر تاب‌آوری اهواز، حاکی از یک شبکه روابط بسیار پیچیده و درهم‌تنیده میان ابعاد کالبدی، فناوری، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و نهادی است. تراکم بالای خطوط قرمز در شکل (۳) که نشان‌دهنده «اثرگذاری مستقیم با پوشش ۱۰۰ درصد» است، تایید می‌کند که متغیرهای پویایی هوشمند (مانند TEC1 و TEC3) و زیرساخت‌های سخت‌افزاری پایدار (نظیر PHY1 و PHY5) به‌عنوان محرک‌های اصلی سیستم عمل می‌کنند؛ به طوری که هرگونه تغییر در هوش مصنوعی و سنسورهای شهری، بلافاصله بر تاب‌آوری کالبدی شهر اهواز در برابر معضلاتی چون گرما و ریزگردها اثر می‌گذارد. همچنین در شکل (۴)، با تمرکز بر «تأثیرپذیری مستقیم»، مشاهده می‌شود که شاخص‌های مربوط به بعد زیست‌محیطی (ENV1 تا ENV5) و عدالت اجتماعی (SOC1 تا SOC5) بیشترین حساسیت را نسبت به کل سیستم دارند؛ این بدان معناست که بهبود کیفیت هوا و توزیع عادلانه خدمات در مناطق حاشیه‌ای اهواز، "نتیجه" مستقیم یکپارچگی داده‌ها (TEC3) و مدیریت واحد

نهادی (INS4) است. در نهایت، تمرکز پیوندها در هسته مرکزی گراف نشان می‌دهد که در آینده‌ی اهواز، فناوری‌های هوشمند صرفاً ابزار نیستند، بلکه به‌عنوان ستون فقراتِ تاب‌آوری شهری، تمامی ابعاد اقتصادی و اجتماعی را به سمت یک توسعه پایدار و مقاوم در برابر بحران‌ها سوق می‌دهند.



شکل (۵). عوامل مؤثر بر وضعیت آینده حمل‌ونقل هوشمند بر تاب‌آوری توسعه پایدار شهری در افق ۱۴۲۰ در شهر اهواز

نتایج همپوشانی اثرات مستقیم و غیرمستقیم نشان داد که ۲۹ عامل کلیدی بر آینده حمل‌ونقل هوشمند و تاب‌آوری توسعه پایدار شهری اهواز تا افق ۱۴۲۰ تأثیرگذارند. بخشی از این عوامل در زمره متغیرهای تأثیرگذار قرار دارند؛ از جمله دسترسی‌پذیری برای گروه‌های آسیب‌پذیر، گزارش‌های مردمی، تبدیل پارکینگ‌ها به فضاهای عمومی، جذب سرمایه‌گذاری خصوصی و کاهش آلودگی صوتی. گروه دیگری شامل شاخص‌های زیرساختی و فناوریانه مانند مقاومت سازه‌ای، توسعه مسیرهای پیاده‌مدار، استقرار حسگرهای اینترنت اشیا، ارتباطات هوشمند وسیله نقلیه با زیرساخت و سامانه‌های اطلاع‌رسانی بلادرنگ است. همچنین عوامل اقتصادی و مدیریتی مانند یکپارچگی پرداخت الکترونیک، کاهش هزینه‌های شهری، درآمدهای ترافیکی هوشمند و رشد بازار مناطق مجهز به زیرساخت هوشمند نقش مهمی دارند. در کنار این موارد، توسعه ایستگاه‌های شارژ برقی، توزیع عادلانه فناوری در مناطق حاشیه‌ای و استفاده از کارت بلیت واحد نیز مطرح شده‌اند. عوامل نهادی و حکمرانی مانند تدوین چارچوب‌های قانونی، آموزش، همکاری نهادی و پایش اهداف توسعه هوشمند نیز در این مجموعه قرار دارند. افزون بر این، تقویت تاب‌آوری سایبری و امنیت شبکه از متغیرهای دوجوهی مهم به شمار می‌رود. در نهایت، این متغیرها بر اساس برآیند میزان اثرگذاری و اثرپذیری در ساختار سیستم، در نرم‌افزار میک‌مک تحلیل و رتبه‌بندی شده‌اند.

جدول (۸). رتبه‌بندی میزان اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذار

تأثیر غیر مستقیم عوامل نسبت به یکدیگر				تأثیر مستقیم عوامل نسبت به یکدیگر			
میزان	کد شاخص	میزان	تأثیرگذاری	میزان	کد شاخص	میزان	تأثیرپذیری
رتبه							

۱	ENV5	۳۶۶	PHY5	۳۸۳	ENV5	۳۶۱	PHY5	۳۷۸
۲	ECO1	۳۵۳	PHY1	۳۶۶	ECO1	۳۵۲	PHY1	۳۶۴
۳	INS7	۳۵۳	TEC4	۳۴۵	INS7	۳۴۷	TEC4	۳۴۵
۴	PHY4	۳۴۹	TEC5	۳۴۰	PHY4	۳۴۱	TEC5	۳۳۷
۵	PHY2	۳۴۰	ENV1	۳۴۰	PHY2	۳۳۹	ENV1	۳۳۴
۶	SOC3	۳۳۶	PHY6	۳۳۲	INS8	۳۳۴	PHY6	۳۲۸
۷	INS8	۳۳۶	INS4	۳۲۳	SOC3	۳۳۳	INS4	۳۲۱
۸	ECO4	۳۲۷	PHY2	۳۱۹	ECO4	۳۲۴	PHY3	۳۱۸
۹	PHY1	۳۱۹	PHY3	۳۱۹	PHY1	۳۲۱	SOC2	۳۱۷
۱۰	SOC1	۳۱۹	ECO5	۳۱۹	SOC1	۳۱۹	PHY2	۳۱۵
۱۱	TEC4	۳۱۴	SOC2	۳۱۴	TEC4	۳۱۷	TEC1	۳۱۳
۱۲	ECO3	۳۰۶	TEC1	۳۱۰	ECO3	۳۰۲	PHY4	۳۱۰
۱۳	PHY6	۳۰۱	TEC6	۳۱۰	INS1	۳۰۲	ECO5	۳۱۰
۱۴	INS1	۳۰۱	PHY4	۳۰۶	PHY6	۳۰۲	INS3	۳۰۶
۱۵	ECO5	۲۹۷	INS3	۳۰۶	ECO5	۳۰۲	TEC6	۳۰۶
۱۶	ECO2	۲۹۳	ECO1	۲۹۳	ENV2	۲۹۶	ECO1	۳۰۰
۱۷	PHY5	۲۸۹	INS5	۲۹۳	INS2	۲۹۱	INS2	۲۹۱
۱۸	TEC3	۲۸۹	ENV2	۲۸۹	SOC5	۲۹۱	ECO3	۲۸۵
۱۹	ENV2	۲۸۹	TEC3	۲۸۴	PHY5	۲۸۹	TEC3	۲۸۵
۲۰	SOC5	۲۸۹	INS2	۲۸۴	ECO2	۲۸۷	INS5	۲۸۵
۲۱	INS2	۲۸۹	ECO3	۲۸۰	TEC3	۲۸۴	INS1	۲۸۲
۲۲	TEC5	۲۸۰	ECO4	۲۷۶	INS4	۲۸۱	ENV2	۲۸۱
۲۳	SOC4	۲۸۰	ENV4	۲۷۶	SOC4	۲۷۸	ENV4	۲۷۶
۲۴	INS4	۲۷۶	ENV5	۲۷۶	INS5	۲۷۶	ENV5	۲۷۴
۲۵	ENV3	۲۷۱	INS1	۲۷۶	ENV3	۲۷۶	ECO4	۲۷۳
۲۶	INS5	۲۷۱	INS8	۲۷۱	TEC5	۲۷۴	INS7	۲۷۲
۲۷	PHY3	۲۶۳	INS7	۲۶۷	PHY3	۲۶۴	INS8	۲۷۱
۲۸	SOC2	۲۶۳	TEC2	۲۵۸	SOC2	۲۶۳	TEC2	۲۶۰
۲۹	TEC6	۲۵۸	SOC1	۲۳۷	TEC6	۲۵۹	SOC1	۲۳۸

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵

نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد متغیرهای ENV5 (گره‌های مجهز به سنسور و سرعت واکنش)، ECO1 (کاهش هزینه‌های پنهان شهری) و INS7 (تاب‌آوری سایبری) بیشترین اثرگذاری مستقیم را در سیستم حمل‌ونقل هوشمند اهواز دارند. این موضوع بیانگر نقش محوری محرک‌های دیجیتال، اقتصادی و امنیتی در هدایت آینده سیستم است. در مقابل، متغیرهای PHY5 (حسگرهای اینترنت اشیاء)، PHY1 (مقاومت سازه‌ای) و TEC4 (سرعت بازیابی سیستم) بیشترین میزان تأثیرپذیری را نشان می‌دهند. نتایج تحلیل غیرمستقیم نیز تداوم برتری ENV5 و ECO1 را در اثرگذاری و برجسته بودن

PHY5 و PHY1 را در اثرپذیری تأیید می‌کند. تکرار این متغیرها در هر دو تحلیل، بیانگر ثبات ساختاری مدل و تمرکز راهبردی بر پایش هوشمند محیطی و بهره‌وری اقتصادی است. در مجموع، فناوری‌های هوشمند و امنیت سایبری بیشترین نقش هدایت‌گر را دارند، در حالی که زیرساخت‌های کالبدی بیشترین وابستگی را به این عوامل نشان می‌دهند. این امر نشان‌دهنده آن است که تاب‌آوری توسعه پایدار شهری در اهواز در افق ۱۴۲۰، بیش از آنکه وابسته به ساخت‌وسازهای سنتی باشد، مدیون «هوشمندسازی زیرساخت‌های موجود» است. به عبارت دیگر، تاب‌آوری فیزیکی شهر در برابر تنش‌های اقلیمی (مثل گرما و سیل)، زمانی محقق می‌شود که ابتدا لایه‌های هوشمند (حسگرها و الگوریتم‌ها) و امنیت سایبری با موفقیت مستقر شوند تا بتوانند زیرساخت‌های کالبدی را به‌طور پویا مدیریت و هدایت کنند. این پدیده، گذار از «تاب‌آوری سخت‌افزاری» به «تاب‌آوری هوشمند و داده‌محور» را در آینده پژوهی کلان‌شهر اهواز تأیید می‌کند.

۴. بحث

با توجه به شدت چالش‌های اقلیمی، ترافیکی و زیرساختی در کلان‌شهر اهواز، آینده‌پژوهی حمل‌ونقل هوشمند به یکی از محورهای اساسی تحقق تاب‌آوری توسعه پایدار شهری تبدیل شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ساختار آینده این شهر بر پایه شبکه‌ای پیچیده از ۲۹ پیشران کلیدی شکل گرفته است. برجستگی اصلی این پژوهش در مقایسه با مطالعات پیشین، اثبات گذار پارادایمی کلان‌شهر اهواز از الگوی «تاب‌آوری کالبدی-سنتی» به سمت «تاب‌آوری هوشمند، سایبری و داده‌محور» است. نتایج نشان داد متغیرهایی مانند پایش هوشمند گره‌های ترافیکی، کاهش هزینه‌های پنهان شهری و تاب‌آوری سایبری بیشترین قدرت اثرگذاری را داشته و در مقابل، زیرساخت‌های کالبدی (نظیر مقاومت سازه‌ای و حسگرهای اینترنت اشیا) وابستگی بالایی به این محرک‌های هوشمند دارند. این امر ثابت می‌کند که پایداری شهری در اهواز دیگر صرفاً با توسعه سخت‌افزاری محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند بلوغ در یکپارچگی داده‌ها و حکمرانی دیجیتال است. در سطح بین‌المللی، یافته‌های این پژوهش تشابهات و تفاوت‌های قابل تأملی با روندهای جهانی دارد. از منظر تشابه، تأکید پژوهش حاضر بر تاب‌آوری سایبری، حکمرانی هوشمند و امنیت داده‌ها با یافته‌های ماگتو و همکاران (۲۰۲۴) و فنگ و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی کامل دارد؛ مطالعات مذکور نیز فناوری‌های دیجیتال و مدیریت داده‌محور را پیشران اصلی تاب‌آوری شهرهای مدرن در برابر بحران‌ها معرفی کرده‌اند. با این حال، تفاوت معناداری میان نتایج این تحقیق و رویکردهای غالب بین‌المللی وجود دارد؛ در بسیاری از مطالعات جهانی، توسعه زیرساخت‌های فیزیکی فناوری (مانند استقرار گسترده سنسورهای (IOT) به عنوان متغیرهای مستقل و پیشران در نظر گرفته می‌شوند، اما در اهواز، این زیرساخت‌ها در دسته متغیرهای وابسته قرار گرفته‌اند. این تفاوت نشان می‌دهد که در بستر شهرهای در حال توسعه، پیش‌نیاز اثربخشی سخت‌افزارهای هوشمند، استقرار سیستم‌های امنیتی شبکه و ارتقای ظرفیت‌های مدیریت کلان است. در سطح ملی و منطقه‌ای نیز، پیوند قوی میان شاخص‌های فناوریانه با ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی در این مطالعه، با یافته‌های هاشمی و همکاران (۱۴۰۴) و رمضان‌زاده و شکیبایی‌فر (۱۴۰۱) همسو است که بر نقش مستقیم هوشمندسازی در کاهش نابرابری فضایی و ارتقای کارایی خدمات تأکید دارند. همچنین همخوانی نتایج با پژوهش‌های علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۱)، آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱) و نصرتی و همکاران (۱۳۹۹) تأیید می‌کند که ضعف مدیریتی و جزیره‌ای

بودن اطلاعات، همچنان سد راه اصلی تاب‌آوری در کلان‌شهرهای ایران است. با وجود این تشابهات، نتایج پژوهش حاضر تفاوت آشکاری با مطالعه هاشمی و همکاران (۱۴۰۵) در کرمانشاه و طه غائب و همکاران (۱۴۰۵) در کرکوک دارد. در آن مطالعات، بازآفرینی کالبدی و توسعه زیرساخت‌های فیزیکی به عنوان پیشران‌های اصلی تاب‌آوری شناسایی شده‌اند؛ در حالی که در کلان‌شهر اهواز به دلیل شرایط خاص اقلیمی و گستردگی بحران‌های محیطی - مدیریت سنتی فیزیکی پاسخگو نبوده و پیشران‌های «فناوری‌محور»، «داده‌پایه» و «امنیت سایبری» به عنوان تنها مسیر کارآمد برای واکنش سریع و هدایت سیستم به سوی توسعه پایدار شهری خودنمایی می‌کنند.

۶. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش راهبردی حمل‌ونقل هوشمند در ارتقای تاب‌آوری توسعه پایدار در کلان‌شهر اهواز تا افق ۱۴۲۰ از طریق تحلیل ساختاری ۲۹ پیشران کلیدی انجام شد. یافته‌های این مطالعه، نشان‌دهنده یک تغییر پارادایم بنیادی در مدیریت شهری اهواز است؛ گذاری معنادار از رویکردهای «تاب‌آوری کالبدی-سنتی» به سمت مدل‌های پیشرفته «تاب‌آوری هوشمند، سایبری و داده‌محور». این تحول بیانگر آن است که برای بقا و پویایی در شرایط بحرانی، باید نگاه سنتی به زیرساخت‌ها جای خود را به حکمرانی مبتنی بر دانش و فناوری‌های نوین بدهد. نخستین یافته کلیدی این پژوهش، بر تقدم و اولویت مطلق «نرم‌افزار بر سخت‌افزار» تأکید دارد. برخلاف الگوهای مرسوم که توسعه پایدار را تنها در گرو گسترش کالبدی و ایجاد ابنیه جدید می‌دانند، یافته‌های این مطالعه اثبات می‌کند که تاب‌آوری فیزیکی اهواز در مواجهه با تنش‌های شدید اقلیمی، به‌ویژه گرما و گرد و غبار، تابعی مستقیم از موفقیت و بلوغ لایه‌های هوشمند است. متغیرهای محوری همچون «پایش هوشمند گره‌های ترافیکی»، «تاب‌آوری سایبری» و «بهره‌وری اقتصادی»، نه به عنوان ابزارهای جانبی، بلکه به مثابه ستون فقرات نظام تاب‌آوری شهری عمل می‌کنند. در واقع، زیرساخت‌های فیزیکی بدون تحقق هم‌زمان حکمرانی دیجیتال و امنیت شبکه، شکننده باقی می‌مانند و توان انطباق لازم را در بحران‌ها نخواهند داشت. دومین جنبه یافته‌ها، آشکارکننده ساختار سیستمی و درهم‌تیدگی پیچیده متغیرهاست. بر اساس تحلیل‌های «میک‌مک»، شبکه روابط در سیستم حمل‌ونقل اهواز به‌گونه‌ای است که متغیرهای فناورانه، نقش هدایت‌گری ایفا می‌کنند. در حالی که مؤلفه‌هایی همچون «سنسورهای اینترنت اشیاء» و «استحکام سازه‌ای» به‌طور مستقیم تحت تأثیر سیاست‌های کلان فناورانه قرار دارند، بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی و عادلانه سازی دسترسی‌های اجتماعی، نه تنها هدف، بلکه «نتیجه‌ی» نهایی یکپارچگی داده‌ها و مدیریت یکپارچه نهادی است. این یافته به سیاست‌گذاران هشدار می‌دهد که فقدان هماهنگی فرابخشی و بی‌توجهی به امنیت سایبری، منجر به شکست تمامی سرمایه‌گذاری‌های متمرکز بر سخت‌افزار خواهد شد. در سومین محور، پژوهش به تبیین تمایز بوم‌شناختی در رویکرد آینده‌پژوهی اهواز می‌پردازد. تفاوت کلیدی این تحقیق با مطالعات مشابه در شهرهایی نظیر کرمانشاه یا کرکوک، ناشی از شدت بحران‌های ترکیبی در اهواز است. مطالعات مذکور، بازآفرینی کالبدی را پیشران اصلی می‌دانند، حال آنکه در بستر خاص جغرافیایی و زیست‌محیطی اهواز، راه‌حل‌های فیزیکی پیشین کارایی خود را از دست داده‌اند. لذا پیشران‌های «داده‌پایه» تنها مسیر کارآمد برای واکنش سریع و هدایت هوشمندانه سیستم به سوی توسعه پایدار در این کلان‌شهر محسوب می‌شوند.

در نهایت، پیشنهاد راهبردی این پژوهش آن است که اولویت مدیریت شهری اهواز باید از «پروژه محوری فیزیکی» به سوی «زیرساخت محوری دیجیتال» تغییر یابد. استقرار نظام «حکمرانی داده» و تقویت لایه‌های «تاب‌آوری سایبری»، مقدمات ضروری برای مدیریت بحران‌های آتی هستند. بدون ایجاد این بستر هوشمند، تلاش برای دستیابی به تاب‌آوری کالبدی تنها به تکرار الگوهای ناکارآمد گذشته منجر خواهد شد که در برابر تلاطم‌های محیطی همچنان آسیب‌پذیر می‌مانند. در مجموع، این پژوهش ثابت کرد که هوشمندسازی در اهواز، گریزناپذیر و یک ضرورت حیاتی است که پایداری اجتماعی، اقتصادی و کالبدی کلان‌شهر اهواز را در افق ۱۴۲۰ تضمین خواهد کرد..

کتابنامه

۱. احدنژاد روشنی، م.، طهماسبی مقدم، ح.، و علی بخشی، آ. (۱۴۰۵). شناسایی عوامل مؤثر بر تحقق‌پذیری کاربری‌های خدماتی با رویکرد آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهر زنجان). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۶ (۸۱).
۲. بخشی سنجدری، ر.، و دریاباری، س. ج. (۱۳۹۹). بررسی هوشمندسازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در راستای توسعه پایدار شهرها (مورد مطالعه: کلان‌شهر تهران). *اقتصاد و مدیریت شهری*، ۸ (۴)، ۴۵-۳۱.
۳. پورجوان، خ. (۱۳۹۸). تبیین شهر هوشمند و راهکارهای حمل‌ونقل هوشمند شهری. *کارافن*، ۱۶ (۴۵)، ۳۴-۱۵.
۴. پویا، ر.، بسته‌نگار، م.، و مکرمی، آ. (۱۴۰۱). تکنولوژی حمل‌ونقل هوشمند؛ راهبرد مواجهه با چالش‌های اساسی این بخش. *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، ۲۰ (۴۸)، ۷۷-۹۴.
۵. رمضان‌زاده، س.، و شکیبایی‌فر، د. (۱۴۰۱). تأثیر حمل‌ونقل هوشمند بر توسعه پایدار شهری. *فصلنامه علمی راهور*، ۱۱ (۴۳)، ۸۳-۱۱۴.
۶. سلطانی، ع.، و فلاح منشادی، ا. (۱۳۹۱). یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل راهکاری در جهت دستیابی به حمل‌ونقل پایدار، مطالعه موردی کلان‌شهر شیراز. *فصلنامه مطالعات شهری*، ۲ (۵)، ۶۰-۴۷.
۷. شامی، م.، معینی‌فر، م.، و بیگدلی‌راد، و. (۱۴۰۰). تبیین مفاهیم و ارزیابی ابعاد شهر هوشمند با تأکید بر زندگی هوشمند شهری در کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۱ (۱)، ۱۵۰-۱۳۷.
۸. شمس نجفی، ف.، ا.، کامیابی، س.، و ارغان، ع. (۱۴۰۱). ارائه الگوی بهینه شهر هوشمند از منظر توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر ری). *آمایش سرزمین*، ۱۴ (۲)، ۶۴۹-۶۲۳.
۹. طه غائب، و.، مبارکی، ا.، و ولیقلی‌زاده، ع. (۱۴۰۵). تحلیل آینده‌پژوهی مؤلفه‌های کلیدی توسعه پایدار شهر کرکوک. *جغرافیا و آینده‌پژوهی منطقه‌ای*، ۴ (۱)، ۷۹-۶۱.
۱۰. طهماسبی مقدم، ح.، و رسول‌زاده، ز. (۱۴۰۴). بررسی نقش شهر هوشمند در ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: شهر زنجان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴ (۴)، ۱۸۱-۲۰۰.
۱۱. عامری، م.، عباسپور، م.، کاظمی، ر.، و زاهد، ف. (۱۳۹۰). ارایه الگویی جهت جلب مشارکت مردم در طرح‌های توسعه پایدار حمل‌ونقل زمینی. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۳ (۲)، ۷۹-۶۷.

۱۲. علی محمدی، ا.، متولی، ص.، و رجبی، آ. (۱۴۰۲). بررسی بعد مدیریتی تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری با رویکرد توسعه پایدار زیست‌محیطی در منطقه یک شهر تهران. *فصلنامه آینده‌پژوهی شهری*، ۱۰(۳۵)، ۲۳-۱.
۱۳. فرقانی، م.، عرب‌پور، ر.، و صادقی، ز. (۱۴۰۲). تعیین مناسب‌ترین مکان احداث ایستگاه دوچرخه اشتراکی با رویکرد حمل‌ونقل پایدار منطقه دو شهر کرمان. *جغرافیا و توسعه فضایی شهری*، ۱۰(۴)، ۱۲۴-۱۰۵.
۱۴. قائدی، س.، مریانجی، ز.، و حسینی سیاه‌گلی، م. (۱۴۰۲). شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر گردشگری پایدار شهری با رویکرد آینده‌پژوهی (نمونه موردی: کلان‌شهر اهواز). *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۱(۴)، ۳۵۱-۳۸۴.
۱۵. محمدرضاپور، ب. (۱۴۰۱). موانع و راهکارهای هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونه موردی: شهر ارومیه). *نشریه علمی شهر ایمن*، ۵(۲)، ۳۴-۱۶.
۱۶. نسترن، م.، ایزدی، آ.، و مطلوبی، ف. (۱۳۹۲). تحلیل ابعاد کالبدی - اجتماعی رشد هوشمند در شهر اصفهان. *پژوهش هنر دانشگاه هنر اصفهان*، ۳(۶)، ۳۰-۱۷.
۱۷. نصرتی، ع.، مهرجو، م.، و زالی، ن. (۱۳۹۹). طراحی سناریوهای توسعه حمل‌ونقل هوشمند شهری با رویکرد تحلیل محیط اطلاعاتی (مطالعه موردی: شهر همدان). *مدیریت شهری*، ۱۹(۵۹)، ۱۴۵-۱۲۹.
۱۸. هاشمی، ن.، رستمی، م.، ضیایی، ن. پ.، و انصاری‌منش، م. (۱۴۰۴). نقش هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی (نمونه موردی: شهر کرمانشاه). *جغرافیا و توسعه فضایی شهری* (در دست چاپ).
۱۹. هاشمی، ن.، رستمی، م.، ضیایی، ن. پ.، و انصاری‌منش، م. (۱۴۰۵). آینده‌پژوهی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی (نمونه موردی: شهر کرمانشاه). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۶(۵۸)، ۱۱۸-۹۳.

۲۰.

21. Alexopoulos, K., Anagiannis, I., Nikolakis, N., & Chryssolouris, G. (2020). A quantitative approach to resilience in manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 58(19), 1-16.
22. Ali, W. (2026). Harnessing digital twin technology in smart transportation system. In *Handbook on integrating smart technologies for sustainable development* (pp. 49-69). CRC Press.
23. Almatar, K. M. (2024). Smart transportation planning and its challenges in the Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainable Futures*, 8, 100238.
24. Amoaning-Yankson, S., & Amekudzi-Kennedy, A. (2017). Transportation system resilience: Opportunities to expand from principally technical to sociotechnical approaches. *Transportation Research Record*, 2604(1), 28-36.
25. Benkarim, A., & Imbeau, D. (2021). Organizational commitment and lean sustainability: Literature review and directions for future research. *Sustainability*, 13(6), 33-57.
26. Dolgui, A., & Ivanov, D. (2021). 5G in digital supply chain and operations management: Fostering flexibility, end-to-end connectivity and real-time visibility through internet-of-everything. *International Journal of Production Research*, 60(2), 442-451.
27. Feng, H., Lv, H., & Lv, Z. (2023). Resilience towarded digital twins to improve the adaptability of transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 173, 103686.
28. Giang, N. K., Leung, V. C., & Lea, R. (2016, November). On developing smart transportation applications in fog computing paradigm. *Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, 91-98.
29. Guerrero-Ibanez, J. A., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2015). Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and internet of things technologies. *IEEE Wireless Communications*, 22(6), 122-128.

30. Jami Pour, M., Hosseinzadeh, M., & Moradi, M. (2024). IoT-based entrepreneurial opportunities in smart transportation: A multidimensional framework. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 30(2/3), 450–481.
31. Janušová, L., & Čičmancová, S. (2016). Improving safety of transportation by using intelligent transport systems. *Procedia Engineering*, 134, 14–22.
32. Kandogan, Y., & Johnson, S. D. (2016). Role of economic and political freedom in the emergence of global middle class. *International Business Review*, 25(3), 711–725.
33. Khaghani, F., & Jazizadeh, F. (2020). mD-resilience: A multi-dimensional approach for resilience-based performance assessment in urban transportation. *Sustainability*, 12(12), 4879.
34. Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.
35. Mageto, J., Twinomurinzi, H., Luke, R., Mhlongo, S., Bwalya, K., & Bvuma, S. (2024). Building resilience into smart mobility for urban cities: An emerging economy perspective. *International Journal of Production Research*, 62(15), 5556–5573.
36. Mao, J., Sun, Q., Wang, X., Muthu, B., & Krishnamoorthy, S. (2024). The importance of public support in the implementation of green transportation in the smart cities. *Computational Intelligence*, 40(1), 12–32.
37. Nipa, T. J., & Kermanshachi, S. (2021). Dimensions of resilience measurement in critical transportation infrastructure. *International Conference on Transportation and Development 2021*, 302–312.
38. Nitwal, R. S., & Verma, A. (2022). A sustainable and resilient urban transportation system. In *Global pandemic and human security: Technology and development perspective* (pp. 281–293). Springer Nature Singapore.
39. Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., & Liang, F. (2023). Smart transportation: An overview of technologies and applications. *Sensors*, 23(8), 3880.
40. Petrolo, R., Loscri, V., & Mitton, N. (2017). Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 28(1), e3120.
41. Popova, Y., & Popovs, S. (2022). Impact of smart economy on smart areas and mediation effect of national economy. *Sustainability*, 14(5), 2789.
42. Šemanjski, I., Mandžuka, S., & Gautama, S. (2018). Smart mobility. *2018 International Symposium ELMAR*, 63–66. IEEE.
43. Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697–713.
44. Tamvakis, P., & Xenidis, Y. (2012). Resilience in transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 3441–3450.
45. Walzberg, J., Lonca, G., Hanes, R. J., Eberle, A. L., Carpenter, A., & Heath, G. A. (2021). Do we need a new sustainability assessment method for the circular economy? A critical literature reviews. *Frontiers in Sustainability*, 1, 12.
46. Wang, Y., Feng, Y., Li, X., Liu, Z., Chen, C., Cao, D., ... & Wang, B. (2025). Mutualistic symbiotic wireless node for next-era smart transportation. *Nano Energy*, 136, 110746.
47. Xu, Z., Chopra, S. S., & Lee, H. (2021). Resilient urban public transportation infrastructure: A comparison of five flow-weighted metro networks in terms of the resilience cycle framework. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12688–12699.
48. Yahia, O., Chohan, A. H., Arar, M., & Awad, J. (2025). Toward sustainable urban mobility: A systematic review of transit-oriented development for the appraisal of Dubai Metro stations. *Smart Cities*, 8(1), 21.

49. Zheng, L., Xue, Y., & Huang, D. (2025). Inter-city transport hubs and intra-city polycentric structure: Evidence from high-speed rail stations and airports in China. *Journal of Transport Geography*, 123, 104132.
50. Zhou, Q., Shahidehpour, M., Paaso, A., Bahramirad, S., Alabdulwahab, A., & Abusorrah, A. (2020). Distributed control and communication strategies in networked microgrids. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2586–2633.

نسخه
پیش
انتشار