

نقش هوشمندسازی شبکه حمل و نقل درون شهری در تاب آوری شبکه های ارتباطی (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)

هاشمی، نساء (گروه شهرسازی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران).

رستمی، مسلم (گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران)

ضیایی، ناجی پژمان (گروه معماری، واحد اسلام آباد غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلام آباد غرب، ایران).

انصاری منش، مریم (گروه معماری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران)

چکیده:

هوشمندسازی حمل و نقل شهری، با تکیه بر فناوری های نوین، به عنوان یک عامل کلیدی در ارتقای تاب آوری و استحکام بی بدیل شبکه های ارتباطی شهری، نقش آفرینی می کند. در این راستا، از ۹ شاخص اصلی (شامل ۳۵ زیرشاخص) مرتبط با هوشمندسازی حمل و نقل شهری، شامل ابعاد زیرساختی- فنی، ایمنی و امنیتی، مدیریتی، اقتصادی، قانونی، کالبدی، ارتباطی و اطلاع رسانی، زیست محیطی و اجتماعی- فرهنگی استفاده شده است. همچنین، برای سنجش تاب آوری شبکه های ارتباطی، ۵ شاخص (شامل ۲۱ زیرشاخص) مورد بررسی قرار گرفته اند که شامل تاب آوری حرکت سواره، تاب آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران، تاب آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی، تاب آوری شهروندان در برابر جرم، و تاب آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی می شوند. در واقع این مطالعه تلاش می کند تا به ارزیابی نقش هوشمندسازی شبکه حمل و نقل درون شهری بر تاب آوری شبکه های ارتباطی در شهر کرمانشاه با استفاده از روش مدل سازی معادلات ساختاری (SEM) بپردازد. جامعه آماری پژوهش حاضر ۳۸۴ نفر از شهروندان شهر کرمانشاه و ابزار پژوهش با روش های تحلیل همبستگی و الگویابی معادلات ساختاری توسط نرم افزارهای SPSS و SMART PLS تحلیل شدند. نتایج حاصل از مدل سازی معادلات ساختاری حاکی از وجود رابطه قوی و معنادار ($P < 0.05$) بین شاخص های حمل و نقل هوشمند و تاب آوری شبکه های ارتباطی است که این امر نشان می دهد که با افزایش هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری، میزان تاب آوری شبکه های ارتباطی افزایش می یابد. علاوه بر این، شاخص های پرازش مدل نیز نشان می دهند که داده ها به خوبی با مدل مفهومی پژوهش منطبق هستند و از برازندگی لازم برخوردار است که مؤید آن است مدل پیشنهادی به درستی قادر به تبیین رابطه بین متغیرهای مورد مطالعه است و در نهایت نتایج نشان داد که در حوزه تاب آوری شبکه های ارتباطی، شاخص تاب آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی و در حوزه هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری شاخص مدیریتی رتبه اول را کسب کرده اند و شاخص اقتصادی و تاب آوری حرکت سواره، به عنوان قوی ترین عوامل مؤثر، نقش کلیدی در این ارتباط ایفا می کنند. این یافته ها، تأثیر مستقیم و قابل توجه شاخص های حمل و نقل هوشمند بر تاب آوری شبکه های ارتباطی در شهر کرمانشاه را به وضوح نشان می دهد و لزوم توجه ویژه به این شاخص ها در برنامه ریزی های شهری را تأکید می کند.

واژگان کلیدی: حمل و نقل درون شهری، هوشمندسازی حمل و نقل شهری، تاب آوری، SMART PLS، شهر کرمانشاه.

The role of smart urban transportation network in the resilience of communication networks (Case study: Kermanshah city)

Smart urban transportation, relying on modern technologies, plays a key role in enhancing the resilience and unparalleled strength of urban communication networks. In this regard, 9 main indicators (including 35 sub-indicators) related to smart urban transportation have been used, including the dimensions of infrastructure-technical, safety and security, management, economic, legal, physical, communication and information, environmental and socio-cultural. Also, to measure the resilience of communication networks, 5 indicators (including 21 sub-indicators) have been examined, which include the resilience of motorized traffic, the resilience of pedestrians and cyclists, the resilience of the street against natural disasters, the resilience of citizens against crime, and the resilience against adverse weather conditions. In fact, this study attempts to evaluate the role of smart urban transportation network on the resilience of communication networks in Kermanshah city using the structural equation modeling (SEM) method. The statistical population of the present study was 384 citizens of Kermanshah city and the research tools were analyzed with correlation analysis and structural equation modeling methods using SPSS and SMART PLS software. The results of structural equation modeling indicate a strong and significant relationship ($P < 0.05$) between smart transportation indicators and the resilience of communication networks, which indicates that with increasing somatization of urban transportation, the level of resilience of communication networks increases. In addition, the model fit indices also show that the data are well consistent with the conceptual model of the research and have the necessary fit, which confirms that the proposed model is able to correctly explain the relationship between the variables under study. Finally, the results showed that in the field of resilience of communication networks, the street resilience index against natural disasters and in the field of somatization of urban transportation, the management index have obtained the first rank, and the economic

Urban transportation, smart urban transportation, resilience, SmartPls, Kermanshah city.

۱. مقدمه

امروزه تحولات دیجیتالی و گرایش به سوی شهرهای هوشمند، استفاده از فناوری‌های نوین را در همه ابعاد زندگی شهری با هدف ارتقاء کیفیت زندگی، افزایش بهره‌وری و دستیابی به توسعه پایدار ضروری ساخته و در تلاشند تا با بهره‌گیری از راهکارهای هوشمند، چالش‌های موجود را برطرف (Sharifi et al., 2020:346) و برای دستیابی به پایداری شهری راهکارهای مناسب و منطقی برای بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند در محیط زندگی آینده بیابند. در واقع، هدف اصلی از هوشمندسازی شهرها، بهبود کیفیت زندگی شهروندان و تأمین نیازهای آن‌ها در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. (Xu et al., 2022:93) به‌طوری که می‌توان گفت شهرهای هوشمند، با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به دنبال ایجاد محیط‌های شهری پویا و کارآمد هستند که در آن زندگی برای شهروندان راحت‌تر، اقتصادی‌تر و ایمن‌تر باشد. یکی از ارکان اصلی شهر هوشمند که نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی شهری ایفا می‌کند و به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از شهر هوشمند با هدف بهبود کارایی، ایمنی و پایداری شناخته شده است، حمل‌ونقل هوشمند است (Yigitcanlar & Kamruzzaman., 2020:43) که به‌عنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر از دستور کار شهر هوشمند مطرح

شده است (Chung, 2021:11) و می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آلودگی هوا، کاهش ترافیک، بهبود دسترسی به خدمات و افزایش رضایت‌مندی شهروندان داشته باشد (Wu et al., 2018:107). در واقع، حمل‌ونقل هوشمند، پل ارتباطی بین فناوری و زندگی شهری بوده و به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی سنجش پیشرفت و توسعه‌ی یک شهر محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت حمل‌ونقل هوشمند در تحقق هوشمندسازی شهری، تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی نیز نقش بسیار مهمی در تحقق این اهداف ایفا می‌کند. شبکه‌های ارتباطی پایدار و مقاوم، زیربنای لازم برای عملکرد صحیح سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند را فراهم می‌آورند (Zhang et al, 2024:2). اهمیت این ارتباط تنگاتنگ زمانی بیشتر آشکار می‌شود که به چالش‌های روبه‌رشد شهرهای بزرگ توجه گردد و فشارهای ناشی از افزایش جمعیت، رشد اقتصادی و توسعه فناوری و غیره به مشکلات عدیده‌ای از جمله ترافیک سنگین، آلودگی هوا، مصرف بی‌رویه انرژی و کاهش کیفیت زندگی شهروندان شده است که مدیریت این چالش‌ها بدون بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند و شبکه‌های ارتباطی قوی، عملاً غیرممکن است (Ning et al., 2017).

در همین راستا با توجه به دستور کار شهر هوشمند می‌توان گفت که مفاهیم شهر هوشمند، هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی به عنوان سه رکن اصلی در تحقق توسعه پایدار شهری شناخته می‌شوند. این مفاهیم به شدت به هم پیوسته بوده و هر یک بر دیگری اثرگذار است بنابراین می‌توان گفت که حمل‌ونقل هوشمند، به‌عنوان یک سناریوی کاربردی و کلیدی برای توسعه فناوری‌های حسگر و شبکه عمل می‌کند (Israilidis et al., 2021) و با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به‌دنبال بهبود کیفیت زندگی شهری، کاهش آلودگی، افزایش بهره‌وری و مدیریت هوشمند ترافیک است. علاوه بر این، رشد تعداد وسایل نقلیه، اختلال در حمل‌ونقل عمومی، افزایش تصادفات و آلودگی هوا نشان می‌دهد که شهرها نیاز به نوسازی زیرساخت‌های حمل‌ونقل خود دارند. عملکرد نادرست سیستم مستقیماً ساکنان شهر، محیط‌زیست و مشاغل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اطمینان از حرکت روان افراد، کالاها و خدمات، سیستم حمل‌ونقل باید رقابتی و مقرون‌به‌صرفه باشد (Nagy & Csiszar, 2020). بنابراین، هر شهر باید توسعه و نوسازی سیستم تحرک را به‌طور منطقی اتخاذ کند و در این زمینه بهره‌گیری از تکنولوژی و فناوری‌های هوشمند در زمینه حمل‌ونقل، رفاه اجتماعی و اقتصادی مردم را تضمین کند (Bıyık et al., 2021). لذا می‌توان گفت که هوشمندسازی حمل‌ونقل، تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی و توسعه پایدار شهری، سه ضلع یک مثلث هستند. تقویت هر یک از این اضلاع، به تقویت دو ضلع دیگر منجر می‌شود. برای مثال، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های ارتباطی قوی، نه‌تنها به بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند کمک می‌کند، بلکه به افزایش تاب‌آوری کل شهر در برابر حوادث و بحران‌ها نیز منجر خواهد شد بنابراین تحقق شهرهای هوشمند و پایدار مستلزم یک رویکرد یکپارچه و هماهنگ است که در آن، حمل‌ونقل هوشمند، تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی و سایر ابعاد توسعه پایدار شهری به‌صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند. (قدبیک لو، ۱۳۹۵: ۳). درواقع می‌توان گفت تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، قلب تپنده‌ی شهرهای هوشمند و مقاوم در برابر بحران‌هاست. این شبکه‌ها، مانند رگ‌های حیاتی یک موجود زنده، نقش کلیدی در مدیریت بحران‌ها ایفا می‌کنند. از زلزله و سیل گرفته تا حملات سایبری، شبکه‌های ارتباطی تاب‌آور می‌توانند به‌سرعت

خود را ترمیم کرده و به روند عادی زندگی بازگردند. این تاب‌آوری، نه تنها به کاهش خسارات جانی و مالی کمک می‌کند، بلکه به بهبود سرعت پاسخگویی در شرایط بحرانی نیز منجر می‌شود. لذا داشتن شبکه‌های ارتباطی مقاوم، به معنای داشتن شهری است که در برابر هرگونه تهدیدی آماده است. (Cutter, 2018:4). بنابراین دو موضوع مهم و چالش‌برانگیز در ارتباط با حمل‌ونقل هوشمند شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، موضوع رابطه شبکه ارتباطی و دسترسی‌ها با بحران‌های محیطی و تاب‌آوری زیست‌محیطی است که نقش شبکه‌های ارتباطی در مدیریت بحران و تخلیه عمومی بسیار حیاتی است. ساختار فضایی شبکه‌های ارتباطی شهری (مانند خیابان‌ها، بزرگراه‌ها و کوچه‌ها) به طور مستقیم بر میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر بحران‌ها تأثیر می‌گذارد (Husdal, 2019:6). علاوه بر ساختار فضایی شبکه‌های ارتباطی، تاب‌آوری زیست‌محیطی نیز نقش مهمی در مقابله با بحران‌ها ایفا می‌کند (Abdelfattah & El-Shamy, 2024:2).

در همین راستا با توجه به مطالب بالا می‌توان گفت که گسترش روزافزون جمعیت شهری و پیشرفت‌های چشمگیر فناوری اطلاعات و ارتباطات، ضرورت هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری را بیش از پیش آشکار ساخته است. شهر کرمانشاه، با جمعیتی بالغ بر ۹۴۶,۶۵۱ نفر به عنوان قلب تپنده غرب کشور، با رشد روزافزون جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، به زیرساخت‌های ارتباطی قدرتمند و پایداری نیازمند است. موقعیت جغرافیایی خاص این شهر و قرارگیری در منطقه‌ای زلزله‌خیز، اهمیت این زیرساخت‌ها را دوچندان می‌کند. ترافیک سنگین در شبکه‌های ارتباطی، به ویژه در ساعات اوج مصرف، ناشی از تراکم جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، منجر به کندی سرعت اینترنت، قطعی ارتباطات و اختلال در ارائه خدمات می‌شود. این مشکلات نه تنها زندگی روزمره شهروندان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه به فعالیت‌های اقتصادی نیز آسیب جدی وارد می‌سازد در واقع توسعه زیرساخت‌های ارتباطی، کلید طلایی توسعه پایدار کرمانشاه است که با توجه به جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی گسترده در این شهر، نیاز به شبکه‌های ارتباطی با ظرفیت و قابلیت اطمینان بالا بیش از پیش احساس می‌شود. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش هوشمندسازی سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری با تمرکز بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر و کاهش آسیب‌پذیری در برابر رویدادهای بحرانی، به بررسی چالش‌های موجود در این حوزه پرداخته است. با توجه به مشکلات ترافیکی حاد شهر کرمانشاه و اهمیت حیاتی شبکه حمل‌ونقل در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این پرسش است که تأثیر هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری در قالب افزایش تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی چگونه باست؟

با توجه به اهمیت هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. برای مثال، دینی و همکاران^۱ (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از بنادر و کانتینرهای هوشمند زمان حمل‌ونقل را کاهش و رضایت مشتری را افزایش می‌دهد و مدل آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های لجستیکی برتر است. در مقابل، وقار و همکاران^۲ (۲۰۲۳) به چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند پرداخته و عوامل فنی، محدودیت‌های منابع،

^۱ Dini et al

^۲ Waqar et al

عدم سازگاری سیستم‌ها و مشکلات مدیریتی را از موانع اصلی دانستند. سردار و همکاران^۳ (۲۰۲۲) بر تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل شهری و تهدیدهای نوظهور تأکید کرده و خواستار تعیین معیار مرجع برای سنجش آن شدند. همچنین، لیو و همکاران^۴ (۲۰۱۸) با ارائه یک مدل بهینه‌سازی تاب‌آوری نشان دادند که ارزیابی انعطاف‌پذیری در سطح شبکه و اولویت‌بندی اقدامات آمادگی و بازیابی اهمیت دارد. در پژوهشی داخلی نیز، کاوه و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی نقش مدیریت یکپارچه شهری در تحقق حمل‌ونقل هوشمند زاهدان پرداختند و دریافتند که وضعیت نامطلوب متغیرهای مدیریت یکپارچه شهری، مانع از تحقق حمل‌ونقل هوشمند شده و حکمروایی خوب و دیدگاه سیستمی بیشترین تأثیر را دارند در پژوهش دیگر احمدی (۱۴۰۲) با بررسی منطقه ۲ تهران نشان داد که تاب‌آوری معابر شهری ابعاد چندگانه‌ای دارد و نیازمند توجه به جنبه‌های کالبدی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی-مدیریتی است. آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱) در ایلام دریافتند که بخش قابل توجهی از معابر با تاب‌آوری بالا در معرض خطر سیل قرار دارند و توانمندسازی شبکه نیازمند توجه به مسائل مدیریتی است. علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰) با ارائه الگویی برای منطقه ۱ تهران، بهبود ظرفیت سازمانی، مدیریت سیستمی، کاهش مخاطرات، بهره‌گیری از زیرساخت‌ها و فناوری اطلاعات را معیارهای اصلی تاب‌آوری دانستند. حکمت‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) در کرج نشان دادند که شریان اصلی شهر از نظر تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی وضعیت بهتری دارد اما در زمینه حرکت سواره ضعیف‌تر است. در نهایت اناری و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی مناطق شرقی تهران، بزرگراه‌های امام علی و بسیج و مناطق متراکم و محصور را به عنوان آسیب‌پذیرترین نقاط در زمان بحران‌ها شناسایی کردند.

درواقع حمل‌ونقل هوشمند، به عنوان یکی از ارکان اصلی شهرهای هوشمند، با هدف بهبود کیفیت زندگی شهروندان از طریق بهره‌گیری از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، به دنبال دستیابی به اهدافی چون کاهش آلودگی‌های صوتی و محیطی، مدیریت بهینه ترافیک و مصرف انرژی، ارتقای سلامت و ایمنی عمومی، افزایش سرعت و سهولت در جابه‌جایی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل است و با استفاده از فناوری‌های نوین، سعی در ایجاد یک سیستم حمل‌ونقل کارآمد، پایدار و ایمن برای شهروندان دارد. (Jami Pour et al, 2024: 452). در واقع رویکرد حمل‌ونقل هوشمند به طور معمول بر کارایی سیستم و جریان ترافیک خودرو تأکید می‌کند و در درجه اول به دنبال افزایش کیفیت زندگی و تجربه ترافیک افراد است. بدیهی است که حمل‌ونقل هوشمند در دو مرحله تکامل یافته است: ۱- بهبود فناوری و بهینه‌سازی ابزارهای برنامه ریزی حمل‌ونقل، و ۲- در نظر گرفتن مصرف کنندگان به عنوان جزء اصلی حمل‌ونقل هوشمند (Wang et al, 2024: 3). به همین منظور می‌توان گفت که رویکرد حمل‌ونقل هوشمند بر این ایده استوار است که با به کارگیری فناوری‌های پیشرفته، می‌توان کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل را بهبود بخشید. استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات در حوزه ترافیک و حمل‌ونقل، نه تنها به حل مشکلات ترافیک شهری کمک می‌کند، بلکه خدمات ارزش افزوده متنوعی را به شهروندان ارائه داده و تجربیات کاربری متمایزی را رقم می‌زند (Oladimeji et al, 2023: 17) و به شهروندان این امکان را می‌دهد که

^۳ Serdar et al

^۴ Liao et al

گزینه‌های حمل‌ونقل انعطاف‌پذیرتر، کارآمدتر و ایمن‌تر را ارائه دهند (Miraz et al, 2015:220). از این جنبه، اینترنت اشیا می‌تواند در شناسایی اشتباهات انسانی و جلوگیری از تصادفات جاده‌ای فعال‌تر باشد. (Pham et al, 2015:1582). از طرفی فناوری اینترنت اشیا دارای خطرات احتمالی برای امنیت داده‌ها، امنیت فیزیکی، امنیت دستگاه، قوانین، حریم خصوصی، رمزگذاری، احراز هویت و بسیاری از مسائل دیگر پنهان است که باید حل شوند تا این موانع مانع پیشرفت آینده نشوند (Dogra & Kaur, 2022:4). در واقع حمل‌ونقل هوشمند، تحولی عظیم در نحوه مدیریت و استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل است. برای تحقق این تحول، مجموعه‌ای از پیش‌نیازها ضروری است. ۱. **حکمرانی هوشمند**: حکمرانی هوشمند، که ریشه در مفاهیم جامعه هوشمند، شهر هوشمند و جنبش رشد هوشمند در اواخر قرن بیستم دارد، به دنبال ایجاد تغییرات در حکمرانی اجتماعی از طریق فناوری است و هدف آن، ایجاد یک شهر هوشمند یکپارچه و پایدار است (Adenekan et al, 2024:893). به عبارت دیگر، حکمرانی هوشمند تنها زمانی مؤثر است که بتواند ساختار و فرایندهای اجرایی در بخش‌های مختلف دولتی و سازمانی را دگرگون کرده و مشارکت عمومی را ارتقا بخشد (Jiang et al, 2020:1346). حکمرانی هوشمند و حمل‌ونقل هوشمند، دو مفهوم اساسی در شهرهای مدرن هستند که به طور فزاینده‌ای با یکدیگر مرتبط می‌شوند. هر دو مفهوم بر استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای بهبود کارایی و اثربخشی سیستم‌ها تأکید دارند. در این میان، حکمرانی هوشمند نقش محوری در توسعه و اجرای موفق سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند ایفا می‌کند (Gonzalez et al, 2020:26). ۲. **زیرساخت‌های هوشمند**: زیرساخت‌های هوشمند، به عنوان ستون فقرات سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، با فراهم آوردن بستر مناسب برای ارتباط، جمع‌آوری داده و پردازش اطلاعات، نقش مهمی در بهبود کلان‌ای، ایمنی و پایداری سیستم حمل‌ونقل ایفا می‌کنند. این زیرساخت‌ها، که شامل مجموعه‌ای از تجهیزات، فناوری‌ها و سیستم‌های ارتباطی هستند، به منظور مدیریت هوشمند ترافیک، بهبود ایمنی، کاهش آلودگی و افزایش بهره‌وری در سیستم حمل‌ونقل به کار می‌روند (Mboup, 2017:873). ۳. **شهروندان هوشمند**: شهروندان هوشمند و حمل‌ونقل هوشمند، دو مفهوم جدایی‌ناپذیر در طراحی آینده شهرهای مدرن هستند. شهروندان هوشمند، با آگاهی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به بهبود کیفیت زندگی خود و جامعه کمک می‌کند. در مقابل، حمل‌ونقل هوشمند، با استفاده از همین فناوری‌ها، به مدیریت بهینه ترافیک، ارتقای زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ارائه خدمات کارآمدتر به شهروندان می‌پردازد. (Lozano et al, 2021:520).

هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری تأثیرات قابل توجهی بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی دارد. در ادامه به برخی از این تأثیرات با ذکر منابع اشاره می‌کنم:

۱. **افزایش انعطاف‌پذیری و پاسخگویی**: سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های لحظه‌ای، امکان مدیریت بهتر ترافیک در شرایط بحرانی را فراهم می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند با پیش‌بینی الگوهای ترافیکی، از بروز ازدحام در شرایط عادی و بحرانی جلوگیری کنند (Nguyen et al, 2021:102).

۲. بهبود دسترسی به اطلاعات: اطلاع‌رسانی هوشمند به شهروندان در مورد وضعیت ترافیک، مسیرهای جایگزین و زمان سفر، به آن‌ها کمک می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند. این امر به ویژه در شرایط بحرانی، مانند وقوع زلزله یا سیل، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (John et al, 2019:217).
۳. کاهش زمان پاسخگویی به حوادث: سیستم‌های هوشمند می‌توانند با شناسایی سریع حوادث و اطلاع‌رسانی به موقع به نیروهای امدادی، زمان پاسخگویی به آن‌ها را کاهش دهند. این امر می‌تواند به کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از حوادث کمک کند (Chen et al, 2023:18).
۴. افزایش ایمنی: سیستم‌های هوشمند می‌توانند با نظارت بر ترافیک و شناسایی تخلفات، به افزایش ایمنی در شبکه‌های حمل‌ونقل کمک کنند (Mathew, 2019:667).
۵. مدیریت بهینه منابع: هوشمندسازی حمل‌ونقل می‌تواند به مدیریت بهینه منابع، مانند انرژی و زمان، کمک کند (Almatar, 2024:17).

۲- روش‌شناسی

۲-۱. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، با اتخاذ رویکردی کمی و کاربردی، به کنکاش در نقش محوری هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری بر تقویت تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه می‌پردازد. با توجه به ماهیت همبستگی و تأثیرگذاری متقابل متغیرهای مورد مطالعه، روش تحلیل کوواریانس-واریانس در قالب طرح تحقیقاتی توصیفی-همبستگی به عنوان چارچوب روش‌شناختی برگزیده شده است. این انتخاب امکان بررسی میزان و جهت روابط بین متغیرها و همچنین پیش‌بینی تغییرات تاب‌آوری بر اساس سطوح مختلف هوشمندسازی را فراهم می‌سازد. جامعه آماری پژوهش، تمامی شهروندان بالغ شهر کرمانشاه با جمعیتی بالغ بر ۹۴۶۶۵۱ نفر را شامل می‌شود. برای دستیابی به نمونه از فرمول کوهن به منظور تعیین حجم نمونه بهینه (۳۸۴ نفر) و از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تصادفی استفاده شده است. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق‌ساخته بوده است که روایی صوری این پرسشنامه از طریق اجماع نظر متخصصان و اساتید دانشگاهی در حوزه حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی شهری مورد تأیید قرار گرفته است، که نشان‌دهنده انطباق محتوای سؤالات با اهداف پژوهش و پوشش مناسب مفاهیم مورد نظر است. همچنین، روایی همگرا با استفاده از آزمون‌های آماری تخصصی (مانند تحلیل عاملی تأییدی) به اثبات رسیده است، که نشان می‌دهد سازه‌های پرسشنامه با سازه‌های مرتبط دیگر همبستگی بالایی دارند و به خوبی مفاهیم نظری را اندازه‌گیری می‌کنند. پایایی ابزار پژوهش نیز با دقت مورد سنجش قرار گرفته است. استفاده از ضرایب پایایی ترکیبی و آلفای کرونباخ با مقادیر بالاتر از ۰/۷۰ برای هر دو شاخص، حاکی از انسجام درونی بالا و ثبات قابل قبول پاسخ‌های پرسشنامه در طول زمان است. در مرحله تحلیل داده‌ها، از تحلیل همبستگی به منظور بررسی اولیه نوع و شدت روابط بین متغیرها و از مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی به عنوان تکنیک اصلی تحلیل استفاده شده است. استفاده از نرم‌افزارهای SPSS برای آماده‌سازی و تحلیل‌های توصیفی اولیه داده‌ها و Smart PLS برای اجرای مدل‌سازی معادلات ساختاری، امکان تحلیل دقیق و جامع داده‌های پژوهش را فراهم آورده

است. چارچوب مفهومی این پژوهش براساس مبانی نظری استوار بوده و منجر به شناسایی دو بعد کلیدی: حمل و نقل هوشمند (با ۹ شاخص و ۳۵ زیرشاخص) و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی (با ۵ شاخص و ۲۱ زیرشاخص). که در جدول (۱) به تفصیل ارائه شده است.

جدول (۱). شاخص‌های هوشمند سازی حمل و نقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

کد	زیر شاخص	شاخص	ابعاد
T1	استقرار پارکینگ‌های هوشمند	زیرساختی - فنی (I)	حمل و نقل هوشمند
T2	گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات		
T3	استفاده از اپلیکیشن‌ها قدرتمند		
T4	استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک	ایمنی و امنیت (S)	
T5	سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات		
T6	افزایش دقت در جریان حمل‌ونقل		
T7	اطلاع رسانی هوشمند و لحظه‌ای تغییرات جوی	مدیریتی (M)	
T8	شناسایی مکان‌های مهم و امنیتی و ارائه خدمات ویژه		
T9	یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل		
T10	مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی		
T11	مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی		
T12	تربیت نیروهای متخصص در حوزه هوش مصنوعی		
T13	بالا بردن سطح آگاهی مدیران نسبت به نقش پارکینگ‌های دوربین محور		
T14	راه‌اندازی سامانه‌هایی جهت برقراری ارتباط آسان مردم با مسئولین		
T15	سیستم پرداخت الکترونیک		
T16	تقویت شرکت‌های خصوصی برای سرمایه‌گذاری در حوزه شهری		
T17	گرفتن مالیات بیشتر از مصرف کنندگان وسایل نقلیه		
T18	به‌روزرسانی قوانین موجود	قانونی (G)	
T19	وضع قوانینی جهت جلوگیری از سوءاستفاده‌های احتمالی از اطلاعات و داده‌های تصویری		
T20	وضع قوانین مشخص در ارتباط با پارکینگ‌های حاشیه‌ای دوربین محور		
T21	وضع قوانین به منظور جلوگیری از تخریب یا سرقت تجهیزات		
T22	ایجاد پارکینگ‌های طبقاتی در مکان‌های مناسب	کالبدی (P)	
T23	تنظیم دما و روشنایی بصورت هوشمند در خودرو		
T24	سیستم توقف هوشمند		
T25	چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی		
T26	طراحی هوشمند خیابان‌ها با لحاظ طراحی محله و خیابان انسان محور		
T27	استفاده از سیستم هوشمند اطلاع رسانی وضعیت جاده‌ها پیش و حین سفر		

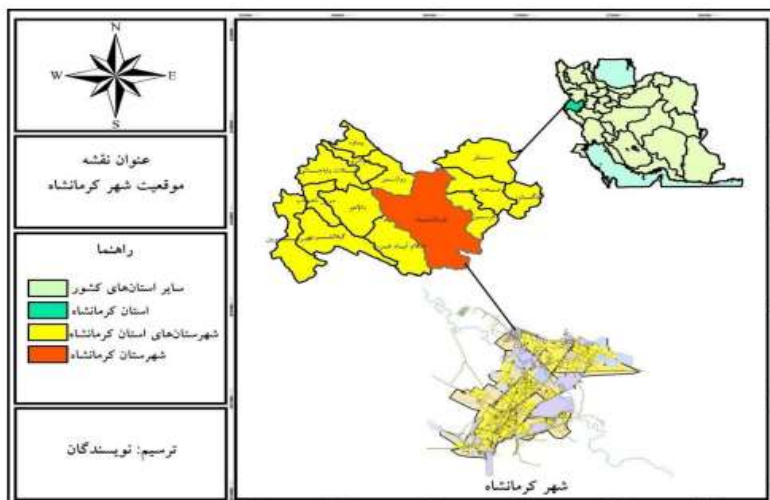
T28	سیستم های هوشمند اطلاع رسانی جوی	ارتباطی و	تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
T29	اطلاع رسانی به بخش خصوصی در خصوص سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل هوشمند	اطلاع‌رسانی (C)	
T30	مسیریابی هوشمند ماشین ها و کاهش مصرف انرژی	زیست محیطی (En)	
T31	تولید و بکارگیری اتومبیل‌های هوشمند بوم گرا		
T32	کاهش اختصاص زمین‌های ارزشمند شهری به خیابان ها و پارکینگ خودروها		
T33	آموزش شهروندان	اجتماعی - فرهنگی (So)	
T34	تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل‌ونقل هوشمند		
T35	مشارکت شهروندان در فرایندهای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل هوشمند		
R1	ترافیک کم سواره	تاب‌آوری حرکت سواره (Rr)	
R2	کاهش تعداد تصادفات		
R3	طراحی مناسب خیابان		
R4	طراحی مسیر ویژه دوچرخه سواری	تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران (Rp)	
R5	در نظر گرفتن خط مشی عابر پیاده		
R6	در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین		
R7	ایجاد و توسعه پیاده رو در مسیرهای پرتردد		
R8	آرام سازی ترافیک		
R9	نزدیکی به مراکز حیاتی	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی (Rs)	
R10	دوری از مکان های خطرزا		
R11	عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان		
R12	جدار مناسب خیابان		
R13	پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی		
R14	محصوریت کم		
R15	در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امداد رسانی		
R16	افزایش نظارت طبیعی	تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم (Ra)	
R17	افزایش حضور نیروهای پلیس		
R18	تأمین روشنایی خیابان‌ها		
R19	تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی (Rc)	
R20	در نظر گرفتن پیاده روهای مسقف		
R21	درختکاری		

منبع: (بخشی سنجدری و دریاباری، ۱۳۹۹. پویا و همکاران، ۱۴۰۱. Lozano et al, 2021. Nguyen et al, 2021. Lu et al, 2022.)

۲-۲- محدوده مورد مطالعه:

کرمانشاه، نهمین شهر ایران و دومین شهر بزرگ و پرجمعیت غرب کشور، در نیمه شرقی استان کرمانشاه و در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. این شهر با ارتفاع متوسط ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، از شمال به ارتفاعات طاق بستان و پراو و از جنوب به ارتفاعات کوه سفید محدود می‌شود. محدوده قانونی شهر با مساحت تقریبی ده هزار هکتار و محدوده تحت مدیریت شهرداری با

مساحت ۸۳۸۷ هکتار، شاهد تحولات جمعیتی و کالبدی چشمگیری بوده است.، به طوری که جمعیت آن از ۱۲۵۴۳۹ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۹۴۶۶۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته و در نتیجه، جمعیت شهری در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ بیش از ۵,۷ برابر شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). موقعیت دقیق این محدوده در شکل (۱) قابل مشاهده است.



شکل (۱). محدوده مورد مطالعه. ترسیم: نگارندگان

وضعیت حمل و نقل در شهر کرمانشاه نشان دهنده ترکیبی از زیرساخت های موجود و تلاش های روزافزون برای هوشمندسازی است. در حال حاضر، حدود ۶۰ تقاطع در کرمانشاه به چراغ های راهنمایی و رانندگی مجهز هستند، که ۱۷ مورد از آن ها از سال ۱۳۹۹ دارای سیستم برق اضطراری نیز شده اند. در بعد هوشمندسازی، کرمانشاه به سرعت در حال توسعه سامانه های حمل و نقل هوشمند (ITS) است (سازمان حمل و نقل شهر کرمانشاه، ۱۴۰۳). برنامه ریزی برای راه اندازی ۱۱۷ سامانه هوشمند جدید در محورهای مواصلاتی، مجموع سامانه های هوشمند جاده ای را به ۲۹۸ مورد افزایش می دهد که شامل افزایش چشمگیر دوربین های نظارت تصویری (به ۷۰ سامانه)، سامانه های ثبت تخلفات (به ۶۶ سامانه)، سامانه های تردد شمار (به ۱۲۲ سامانه) و راه اندازی ۴۰ سامانه هوشمند عکس برداری برای اولین بار است. علاوه بر این، مقدمات راه اندازی سامانه هوشمند حمل و نقل بار و کالا (بارانه) در حال انجام است و مدیریت هوشمند حمل و نقل برای رویدادهای بزرگ مانند اربعین نیز مورد تاکید قرار گرفته است. این اقدامات، همگی نشان دهنده عزم جدی برای بهبود و ارتقای زیرساخت های حمل و نقل هوشمند در شهر و استان کرمانشاه است.

۳. یافته های پژوهش

در این پژوهش، برای ارزیابی مدل های پیچیده روابط بین متغیرها، از روش قدرتمند مدل سازی معادلات ساختاری (SEM) با رویکرد حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد. این روش، در دو مرحله کلیدی به آزمون مدل می پردازد: ارزیابی مدل اندازه گیری (مدل بیرونی) و ارزیابی مدل ساختاری (مدل درونی).

۱. ارزیابی مدل اندازه گیری (مدل بیرونی): این مرحله، به بررسی اعتبار و روایی ابزارهای اندازه گیری و سازه های پژوهش می پردازد. برای اطمینان از کیفیت اندازه گیری ها، سه معیار اصلی مورد بررسی قرار گرفت: اعتبار هر یک از گویه ها: بار عاملی هر گویه باید حداقل ۰/۶ و در سطح ۰/۱ معنادار باشد. این امر نشان می دهد که گویه ها به خوبی سازه مورد نظر را اندازه گیری می کنند. اعتبار ترکیبی سازه ها: این معیار، که با عنوان نسبت دیلون-گلدشتاین نیز شناخته می شود، جایگزینی

برای آلفای کرونباخ است و باید حداقل ۰/۷ باشد. این مقدار، نشان‌دهنده پایایی و همسانی درونی سازه‌ها است. میانگین واریانس استخراج شده (AVE): مقدار AVE باید ۰/۵ یا بیشتر باشد، که نشان می‌دهد سازه مورد نظر، حداقل ۵۰ درصد از واریانس نشانگرهای خود را تبیین می‌کند. نتایج حاصل از بررسی آلفای کرونباخ، اعتبار ترکیبی، AVE و rho_A، که در جدول (۲) ارائه شده است، نشان‌دهنده اعتبار همگرا و همبستگی مناسب سازه‌ها است.

۲. ارزیابی مدل ساختاری (مدل درونی): این مرحله، به آزمون فرضیه‌ها و روابط بین متغیرهای مکنون می‌پردازد. در این مرحله با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مرتبط مدل ساختاری مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از معناداری روابط بین متغیرها بررسی می‌شود.

جدول (۲). نتایج بررسی روایی و پایایی پرسشنامه

ابعاد	شاخص‌ها	الفای کرونباخ	rho_A	شاخص ترکیبی	AVE میانگین واریانس
حمل و نقل هوشمند	اجتماعی - فرهنگی	۰/۷۵۲	۰/۷۰۱	۰/۸۱۰	۰/۵۸۸
	ارتباطی و اطلاع‌رسانی	۰/۷۳۸	۰/۷۵۰	۰/۸۵۱	۰/۶۵۷
	اقتصادی	۰/۷۰۰	۰/۷۱۲	۰/۸۶۵	۰/۷۶۳
	ایمنی و امنیت	۰/۷۰۰	۰/۷۰۴	۰/۸۱۵	۰/۵۲۵
	زیرساختی - فنی	۰/۷۳۰	۰/۷۳۶	۰/۸۰۴	۰/۵۸۰
	زیست محیطی	۰/۷۰۱	۰/۷۰۵	۰/۸۲۲	۰/۶۰۹
	قانونی	۰/۷۳۰	۰/۷۰۰	۰/۸۰۲	۰/۵۷۹
	مدیریتی	۰/۷۵۴	۰/۷۶۰	۰/۸۳۶	۰/۵۰۷
	هوشمندسازی حمل و نقل درون‌شهری	۰/۹۱۱	۰/۹۱۵	۰/۹۲۲	۰/۵۹۹
	کالبدی	۰/۷۲۲	۰/۷۰۰	۰/۷۱۹	۰/۵۶۲
تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی	تاب‌آوری حرکت سواره	۰/۷۰۲	۰/۷۰۲	۰/۸۳۰	۰/۷۰۹
	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی	۰/۷۷۱	۰/۷۷۷	۰/۸۰۲	۰/۵۰۴
	تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی	۰/۷۰۹	۰/۷۰۱	۰/۷۳۷	۰/۵۸۵
	تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی		۱/۰۰۰		
	تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم	۰/۷۶۱	۰/۷۰۰	۰/۸۱۵	۰/۵۹۸
	تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران	۰/۷۶۶	۰/۷۰۰	۰/۸۱۷	۰/۵۹۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

با توجه به جدول (۲)، می‌توان دریافت که در میان ۹ شاخص هوشمندسازی حمل و نقل درون‌شهری، شاخص مدیریتی با آلفای کرونباخ ۰/۷۵۴ بالاترین سطح همسانی درونی و پایایی را نشان می‌دهد. این امر بر اهمیت و ثبات اندازه‌گیری ابعاد

مدیریتی در هوشمندسازی حمل و نقل شهری تأکید دارد. به همین ترتیب، در بین ۵ شاخص شبکه‌های تاب‌آوری شهری، شاخص تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران با آلفای کرونباخ ۰,۷۶۶، بالاترین امتیاز پایایی را به خود اختصاص داده است. این یافته، تمرکز بر زیرساخت‌ها و سیاست‌های حمایتی از حمل و نقل فعال و پیاده‌مدار را در تقویت تاب‌آوری شهری ضروری می‌سازد. در مجموع، امتیازات مطلوب شاخص‌های هوشمندسازی حمل و نقل درون‌شهری، به‌ویژه در بخش مدیریتی، به‌طور قوی اثبات می‌کند که هوشمندسازی نقش بسزایی در ارتقاء تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه دارد. این ارتباط مهم، از طریق بهبود کارایی، ایمنی و قابلیت انطباق سیستم حمل و نقل شهری حاصل می‌شود. علاوه بر این، همانطور که جدول ۳ نیز نشان می‌دهد، تمامی بارهای عاملی استاندارد شده گویه‌ها و متغیرها، مقادیر قابل قبولی را ارائه کرده‌اند که این موضوع به‌وضوح نمایانگر اعتبار همگرا و همبستگی قوی میان سازه‌ها است. این نتایج، روایی و پایایی کلی ابزار اندازه‌گیری پژوهش را تأیید کرده و زمینه را برای تحلیل‌های بعدی بر پایه داده‌های معتبر و قابل اعتماد فراهم می‌آورد.

جدول (۳). نتایج تحلیل عاملی تاییدی: بررسی روایی و پایایی پرسشنامه

ابعاد	شاخص	کد زیر شاخص ها	بار عاملی	شاخص	کد زیر شاخص ها	بار عاملی
حمل و نقل هوشمند	زیرساختی - فنی	T1	۰/۸۸۱	قانونی	T18	۰/۸۱۰
		T2	۰/۸۰۰		T19	۰/۸۵۰
		T3	۰/۶۵۶		T20	۰/۷۰۰
		T4	۰/۶۵۱		T21	۰/۶۰۰
	ایمنی و امنیت	T5	۰/۶۷۸	کالبدی	T22	۰/۷۸۸
		T6	۰/۷۸۸		T23	۰/۷۰۹
		T7	۰/۷۰۳		T24	۰/۱۲۵
		T8	۰/۷۲۶		T25	۰/۵۵۵
		T9	۰/۶۰۴		T26	۰/۴۹۸
	مدیریتی	T10	۰/۶۱۹	ارتباطی و اطلاع‌رسانی	T27	۰/۸۰۰
		T11	۰/۷۶۶		T28	۰/۸۶۸
		T12	۰/۷۴۱		T29	۰/۷۶۰
	اقتصادی	T13	۰/۷۴۱	زیست محیطی	T30	۰/۸۲۵
		T14	۰/۶۸۲		T31	۰/۸۴۳
		T15	۰/۶۱۴		T32	۰/۶۶۱
		T16	۰/۸۴۵	اجتماعی - فرهنگی	T33	۰/۸۱۷
		T17	۰/۹۰۱		T34	۰/۶۸۶
					T35	۰/۷۹۲
تاب‌آوری	تاب‌آوری حرکت سواره	R1	۰/۸۳۹		R13	۰/۶۷۹
		R6	۰/۴۰۸		R14	۰/۷۶۴

۰/۴۸۴	R15	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی	۰/۷۶۳	R7	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی	
۰/۸۲۵	R16	تاب‌آوری	۰/۳۷۹	R8		
۰/۸۳۷	R17	شهروندان در	۰/۷۱۱	R9		
۰/۶۴۳	R18	برابر جرم	۰/۶۸۱	R10		
۰/۷۹۹	R19	تاب‌آوری در	۰/۵۵۱	R11		
۰/۲۲۷	R20	برابر شرایط	۰/۴۶۳	R12		
۰/۷۲۹	R21	نامساعد آب				

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نتایج حاصل از جدول (۳) به وضوح اهمیت و نقش برجسته سه شاخص کلیدی هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری را در تقویت شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه آشکار می‌سازد. بالاترین بار عاملی، متعلق به شاخص "گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان وسایل نقلیه" (T17) با ۰,۹۰۱ است. این یافته نشان می‌دهد که سیاست‌های مبتنی بر ابزارهای مالی و تشویق‌کننده می‌تواند تأثیری چشمگیر بر مدیریت ترافیک و بهینه‌سازی استفاده از شبکه‌های ارتباطی داشته باشد. به عبارت دیگر، اعمال سیاست‌های مالی هوشمندانه می‌تواند جریان ترافیک را بهبود بخشیده و در نتیجه، کارایی و تاب‌آوری کلی شبکه حمل‌ونقل را ارتقا دهد. در کنار این، شاخص "استقرار پارکینگ‌های هوشمند" (T1) با بار عاملی ۰,۸۸۱ از اهمیت بالایی برخوردار است. پارکینگ‌های هوشمند نه تنها به مدیریت بهینه فضای شهری کمک می‌کنند، بلکه با کاهش زمان جستجو برای پارک و روان‌سازی ترافیک ناشی از آن، مستقیماً بر بهبود عملکرد و روانی تردد در خیابان‌ها اثر می‌گذارند. این امر به نوبه خود، زمینه‌ساز طراحی مناسب‌تر خیابان‌ها، فراهم‌آوری تردد ایمن‌تر برای معلولین و تشویق به توسعه پیاده‌روها در مسیرهای پرتردد می‌شود که همگی اجزای حیاتی یک شبکه ارتباطی تاب‌آور و انسان‌محور هستند. در نهایت، شاخص "سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی" (T28) با بار عاملی ۰,۸۶۸ بر ضرورت مدیریت ریسک و آمادگی در برابر شرایط محیطی نامساعد تأکید دارد. اطلاع‌رسانی به‌موقع در مورد شرایط جوی می‌تواند منجر به هدایت هوشمندانه ترافیک، کاهش تصادفات و حفظ کارایی شبکه در شرایط بحرانی شود، که مستقیماً به تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در برابر چالش‌های محیطی کمک می‌کند. این همگرایی در بار عاملی بالای این سه شاخص، نشان‌دهنده پتانسیل بالای هوشمندسازی در ابعاد مالی، زیرساختی و اطلاعاتی برای ارتقای جامع شبکه‌های ارتباطی شهری در کرمانشاه است.

جدول (۴) ضرایب همبستگی و شاخص روایی منفک را نشان می‌دهد. قطر اصلی این ماتریس ریشه دوم میانگین واریانس تبیین شده می‌باشد. لازمه تأیید روایی منفک بیشتر بودن مقدار AVE از تمامی ضرایب همبستگی متغیر مربوط با باقی متغیرها است. همان‌طور که قابل مشاهده است، مقادیر موجود بر روی قطر اصلی دارای بیشترین مقدار بوده که این امر نشان‌دهنده روایی مناسب سازه‌ها می‌باشد.

جدول (۴). ضرایب همبستگی و شاخص روایی منفک

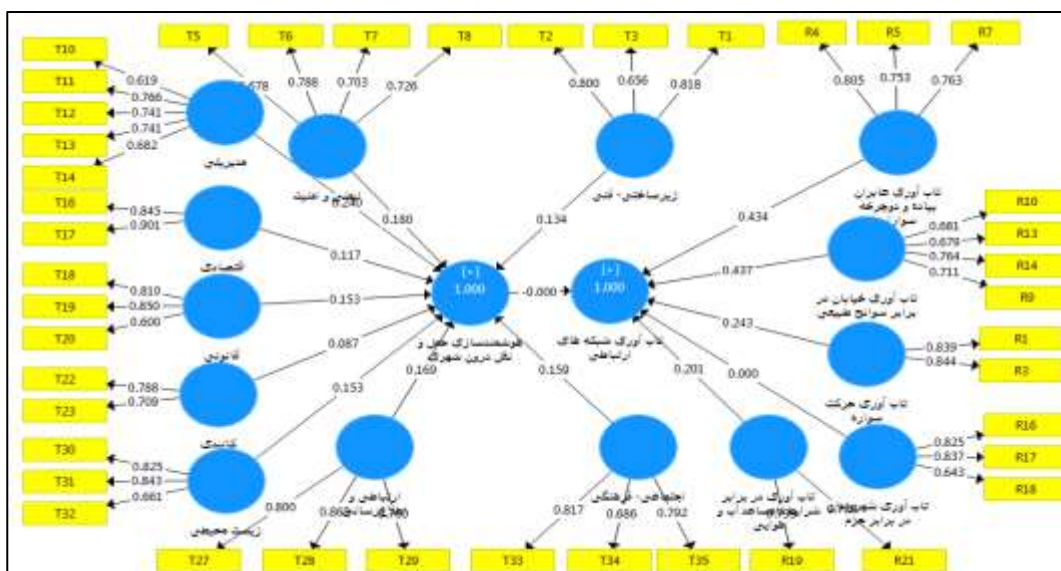
	SO	C	E	S	Rr	Rs	Rc	Ra	Rp	I	E	G	M	P
SO	+/۷۶۷													
C	+/۵۶۴	+/۸۱۰												
E	+/۴۹۰	+/۴۴۹	+/۸۷۳											
S	+/۳۴۰	+/۳۷۶	+/۳۰۲	+/۷۲۵										
Rr	+/۵۴۲	+/۴۶۷	+/۳۶۸	+/۲۷۶	+/۸۴۲									
Rs	+/۴۱۴	+/۳۷۸	+/۳۸۴	+/۷۰۳	+/۳۵۵	+/۷۱۰								
Rc	+/۳۲۰	+/۳۸۳	+/۲۴۶	+/۱۸۳	+/۳۶۶	+/۱۸۸	+/۷۶۵							
Ra	+/۵۱۰	+/۵۱۰	+/۴۵۵	+/۴۴۰	+/۳۷۵	+/۴۶۵	+/۱۳۸	+/۷۷۴						
Rp	+/۵۷۳	+/۵۳۶	+/۵۰۶	+/۴۲۰	+/۶۴۱	+/۴۷۹	+/۳۴۹	+/۵۳۲	+/۷۷۴					
I	+/۳۱۶	+/۳۵۵	+/۳۳۷	+/۵۲۰	+/۳۰۷	+/۴۷۳	+/۳۰۶	+/۴۲۱	+/۴۳۰	+/۷۶۱				
E	+/۵۸۵	+/۵۴۸	+/۴۶۱	+/۴۴۴	+/۴۲۰	+/۴۱۹	+/۱۸۸	+/۸۷۰	+/۵۷۳	+/۴۰۴	+/۷۸۱			
G	+/۵۱۳	+/۴۴۹	+/۶۱۴	+/۳۸۹	+/۴۴۶	+/۴۰۵	+/۲۹۶	+/۵۱۳	+/۶۱۴	+/۳۹۲	+/۴۹۷	+/۷۶۱		
M	+/۴۳۴	+/۴۱۴	+/۴۱۵	+/۶۴۴	+/۳۶۰	+/۷۳۵	+/۱۹۵	+/۴۷۵	+/۵۰۹	+/۵۳۵	+/۴۴۹	+/۴۱۱	+/۷۱۲	
P	+/۴۲۹	+/۴۴۳	+/۴۳۶	+/۳۷۲	+/۳۵۸	+/۳۹۸	+/۴۴۰	+/۵۱۹	+/۴۶۸	+/۴۳۰	+/۳۵۸	+/۵۲۳	+/۳۸۹	+/۷۵۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

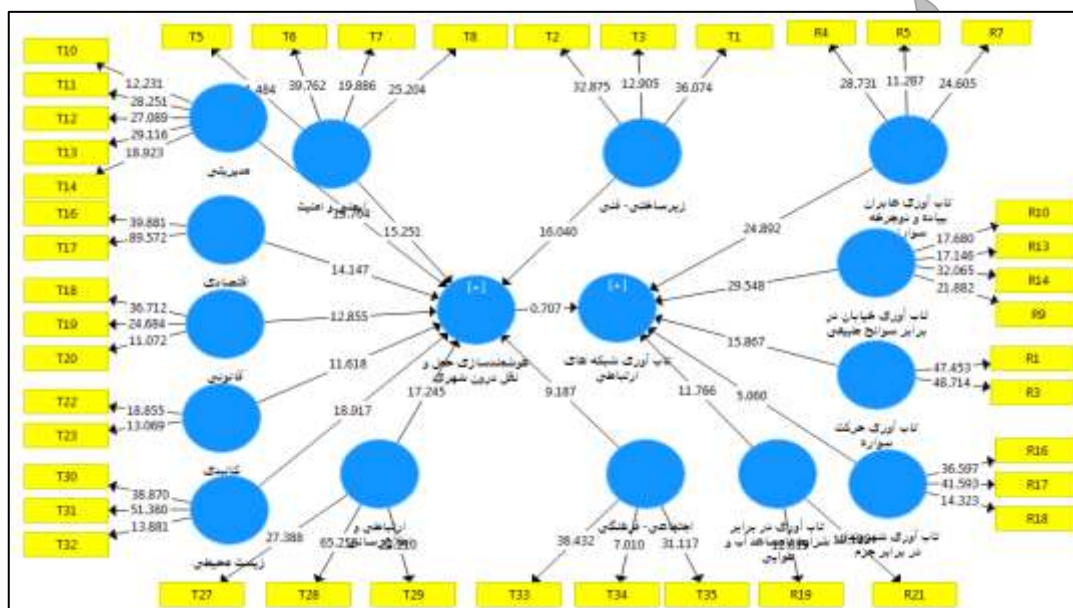
با استناد به یافته‌های پژوهش، تحلیل‌ها به وضوح ارتباط مثبت و معناداری را (با سطح اطمینان حداقل ۹۵٪) بین هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی نشان می‌دهند. این همبستگی قوی بدین معناست که هرگونه پیشرفت در زیرساخت‌ها و راهکارهای هوشمند حمل‌ونقل، مستقیماً به افزایش تاب‌آوری و پایداری شبکه‌های ارتباطی شهر منجر می‌شود. برای مثال، سیستم‌های اطلاع‌رسانی هوشمند و بلادرنگ در زمینه تغییرات جوی، که خود بخشی از بعد ایمنی و امنیت حمل‌ونقل هوشمند هستند، با فراهم آوردن داده‌های حیاتی به رانندگان و نهادهای مربوطه، موجب آرام‌سازی ترافیک و در نتیجه ارتقای تاب‌آوری حرکت سواره در ابعاد کلی شبکه‌های ارتباطی می‌گردند. علاوه بر این، مقایسه ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که شاخص اقتصادی، و در پی آن شاخص تاب‌آوری حرکت سواره، قوی‌ترین تأثیر را در این رابطه دوسویه دارند. این کشف اهمیت راهبردی سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی در زیرساخت‌های هوشمند و تمرکز بر ارتقای جریان حرکت وسایل نقلیه را برای تقویت کلی تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهری برجسته می‌سازد. این نتایج نه تنها فرضیه‌های اصلی پژوهش را تأیید می‌کنند، بلکه مبانی محکمی برای برنامه‌ریزی‌های آتی در جهت توسعه پایدار و تاب‌آور شهری ارائه می‌دهند.

بررسی اعتبار شاخص‌های هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

پس از بررسی اعتبار و روایی ابزارهای اندازه‌گیری و سازه‌های پژوهش (مدل بیرونی)، لازم است تا فرضیه‌ها و روابط متغیرهای مکنون (مدل درونی) مورد آزمون قرار گیرد. بدین منظور مدل آزمون شده پژوهش در شکل (۲ و ۳) ارایه شده است.



شکل (۲). مدل اندازه‌گیری ضرایب مسیر و بارهای عاملی در حالت ضرایب استاندارد



شکل (۳). ضرایب معناداری مسیر (T-Values) شاخص‌های پژوهش

شکل (۲) و (۳) نشان می‌دهد که بین شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها ارتباط مستقیم وجود دارد به طوری که در شکل (۳) که سطح معناداری شاخص‌ها را نشان می‌دهد، شاخص مدیریتی در حوزه حمل‌ونقل هوشمند با امتیاز ۱۹,۷۶۴ بالاترین تأثیر را در بین ابعاد هوشمندسازی ایفا می‌کند. این یافته حاکی از نقش محوری مدیریت کارآمد در پیاده‌سازی و اثربخشی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است. در بخش تاب‌آوری، شاخص تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی با امتیاز ۱۹,۵۴۸ بیشترین سطح معناداری را به خود اختصاص داده است، که ضرورت برنامه‌ریزی زیرساختی قوی و مقاوم‌سازی شبکه‌های ارتباطی در برابر مخاطرات محیطی را برجسته می‌سازد. در نهایت، معناداری آماری بالاتر از ۰,۵ بین هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در سطح کلی، مهر تاییدی بر این واقعیت است که

سرمایه‌گذاری در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، به‌طور معناداری به افزایش تاب‌آوری کلی شبکه‌های ارتباطی شهری کمک می‌کند و صرفاً یک ارتباط جزئی یا تصادفی نیست. این تحلیل‌ها عمق بیشتری به درک ما از روابط پیچیده میان این دو متغیر کلیدی می‌بخشند و اهمیت رویکردی جامع در سیاست‌گذاری‌های شهری را نشان می‌دهند.

آزمون مدل‌سازی معادلات ساختاری

در جدول (۲) نتایج تحلیل عاملی تاییدی (بار عاملی و میانگین واریانس استخراج شده) و آزمون پایایی (پایایی ترکیبی و آلفای کرونباخ) آمده است و شکل (۴ و ۵) مدل تجربی پژوهش است. تحلیل مؤلفه‌های استخراج شده بر اساس بار عاملی و میزان همبستگی به‌دست آمده نشان داده است که متغیرهای تبیین‌کننده‌ی که توسط تحلیل عاملی اکتشافی استخراج شده است دارای پایایی کلی با میانگین ۰/۹۱۵ برای شاخص‌های حمل‌ونقل هوشمند درون‌شهری و آلفای کرونباخ برای ۰/۹۱۱ است که توجیه قوی‌ای برای این موضوع می‌باشد. و مقدار حداقل آن‌ها ۰/۷۰ تعیین شده است. نتایج نشان داد با توجه به مقدار بارهای عاملی بدست آمده برای تمامی سوالات که بیشتر از ۰/۵۰ است و در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ ($p < 0.05$) قرار دارند (تمامی مقادیر t بزرگتر از ۱/۹۶ شده است)، نتیجه نشان داد که روایی سازه تمامی متغیرهای آشکار یا سوالات پرسشنامه تایید می‌شود. لازم به ذکر است که ۱۴ سوال از پرسشنامه شامل سوالات شماره ۲۵، ۲۴، ۲۱، ۱۵، ۹، ۴ و ۲۶ (حمل‌ونقل هوشمند درون‌شهری) و سوالات شماره ۶، ۲، ۱۱، ۸، ۱۲، ۱۵، ۲۰ (تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی) به دلیل بار عاملی ضعیف و غیر قابل قبول (کمتر از ۰/۶۰) از مدل و تحلیل حذف شدند. برای سنجش پایایی از آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شد که مطابق نتایج تمامی مقادیر پایایی ترکیبی بیشتر از ۰/۷۰ است که نشان داد تمامی متغیرها از پایایی مناسبی برخوردارند. مقادیر آلفای کرونباخ تمامی متغیرها نیز بالاتر از ۰/۷۰ بدست آمد که نشان داد بر اساس روش همسازی درونی یا آلفای کرونباخ نیز پایایی پرسشنامه تایید شد. آلفای کرونباخ برای شاخص‌های حمل‌ونقل هوشمند درون‌شهری ۰/۹۱۱ را نشان داد. از شاخص میانگین واریانس استخراج شده جهت بررسی روایی همگرا استفاده شد. میانگین واریانس استخراج شده که روایی همگرا را می‌سنجد از حداقل ۰/۷۱۰ برای شاخص تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی تا حداکثر ۰/۸۷۳ برای شاخص اقتصادی بدست آمد که نشان داد روایی همگرای همه شاخص‌ها مقدار مطلوبی بدست آمد. در مجموع نتایج نشان داد که می‌توان روایی و پایایی تمامی عامل‌ها و سوالات مربوط به آن‌ها را مورد تایید دانست. جدول (۶). در مدل‌سازی حداقل مربعات جزئی، شاخصی به نام نیکویی برازش پیشنهاد شده است. این شاخص هر دو مدل اندازه‌گیری و ساختاری را مدنظر قرار می‌دهد و به عنوان معیاری برای سنجش عملکردی مدل به کار می‌رود. برای مقایسه میانگین یا متوسط مقادیر اشتراکی متغیرهای مدل، از خروجی الگوریتم PLS، در قسمت شاخص‌های کیفی مدل، نشان داده شده است. در مجموع، نتایج تحلیل‌های روایی (سازه و همگرا) و پایایی (آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی) به‌وضوح نشان‌دهنده کفایت و اعتبار بالای ابزار اندازه‌گیری پژوهش حاضر است. این یافته‌ها، اعتماد به نتایج مدل‌سازی و استنتاج‌های بعدی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

جدول (۵). نیکویی برازش مدل

مدل استاندارد	مدل تخمینی	
۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	SRMR
۵۰/۴۸۵	۵۰/۴۹۱	D_ULS
۶/۴۳۴	۶/۵۱۳	D_G
۳۶۰۴/۰۱۸	۳۶۰۰/۳۱۷	Chi-Square
۰/۸۴۳	۰/۸۴۷	NFI

همانطور که در جدول ۵ مشهود است، نتایج ارزیابی شاخص‌های برازش مدل مفهومی پژوهش، حکایت از برازش کلی بسیار مطلوب مدل با داده‌های جمع‌آوری شده دارد. این برازش قوی، به معنای آن است که روابط نظری میان متغیرهای هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، به خوبی توسط داده‌های تجربی تأیید شده‌اند.

میزان تأثیر شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

جهت سنجش میانگین عامل‌ها و مقایسه آن با مقداری استاندارد یا مفروض از آزمون t تک نمونه‌ای (جدول ۶) استفاده شد. دامنه نمرات پرسشنامه از نوع طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای و از ۱ تا ۵ بود و در نتیجه میانگین نمونه با مقدار ۳ که مقداری متوسط است مقایسه شد. متغیرهایی که میانگین آن‌ها به طور معنی‌داری بالاتر از متوسط (۳) باشد عامل مؤثری هستند. لازم به ذکر است که نرمال بودن شکل توزیع داده‌ها که پیش فرض آزمون پارامتریک تی‌تک نمونه‌ای است با آماره‌های کجی و کشیدگی بررسی شد و چون مقادیر کجی و کشیدگی تمامی متغیرها در دامنه ۱- تا ۱+ بدست آمد، پیش فرض نرمال بودن تأیید شد.

جدول (۶). آزمون تی‌تک نمونه‌ای به منظور بررسی میزان شاخص‌های پژوهش

سطح معنی‌داری	مقدار t	تفاوت میانگین	میانگین	
۰/۰۰۰	۹/۱۸۷	۰/۰۱۷	۰/۱۶۷	اجتماعی-فرهنگی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۷/۲۴۵	۰/۰۱۰	۰/۱۶۶	ارتباطی و اطلاع‌رسانی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۴/۱۴۷	۰/۰۰۸	۰/۱۱۶	اقتصادی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۵/۲۵۱	۰/۰۱۲	۰/۱۷۷	ایمنی و امنیت - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۵/۸۶۷	۰/۰۱۵	۰/۲۴۱	تاب‌آوری حرکت سواره - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۲۹/۵۴۸	۰/۰۱۵	۰/۴۳۳	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۱۱/۷۶۶	۰/۰۱۷	۰/۱۹۸	تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۵/۰۶۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۲۴/۸۹۲	۰/۰۱۷	۰/۴۳۸	تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۱۶/۰۴۰	۰/۰۰۸	۰/۱۳۲	زیرساختی- فنی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۸/۹۱۷	۰/۰۰۸	۰/۱۵۲	زیست محیطی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۲/۸۵۵	۰/۰۱۲	۰/۱۵۱	قانونی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۱۹/۷۰۴	۰/۰۱۲	۰/۲۳۷	مدیریتی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری
۰/۰۰۰	۰/۷۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری - تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۰۰	۱۱/۶۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۸۶	کلیدی - هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری

با قاطعیت می‌توان اظهار داشت که نتایج حاصل از آزمون معادلات، مطابق با جدول (۶)، به وضوح اثبات می‌کند که شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری، نقشی تعیین‌کننده و غیرقابل انکار در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

دارند. این بدان معناست که هرگونه تغییر، چه جزئی و چه اساسی، در وضعیت شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری، به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم، ابعاد مختلف تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی را در این شهر تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این میان، شاخص‌های مدیریتی به عنوان قدرتمندترین عامل، بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی اعمال می‌کنند، در حالی که شاخص‌های اجتماعی-فرهنگی، با تأثیری نسبتاً کمتر، در انتهای این طیف قرار می‌گیرند. همچنین، در حوزه تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، شاخص تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی، به عنوان مؤثرترین عامل، بیشترین تأثیر را بر هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری داشته و در مقابل، شاخص تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم، کمترین تأثیر را به خود اختصاص داده است. علاوه بر این، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که زیرشاخص زیست‌محیطی در حوزه هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و شاخص تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم در حوزه تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، کمترین تأثیر را در این زمینه داشته‌اند. این امر به وضوح نشان می‌دهد که این دو شاخص، علی‌رغم اهمیت ذاتی خود، در مقایسه با سایر شاخص‌ها، نقش کم‌رنگ‌تری در این حوزه ایفا می‌کنند.

در نهایت می‌توان گفت نتایج حاصل از آزمون معادلات ساختاری، که به تفصیل در جدول (۶) ارائه شده است مؤید این واقعیت است که شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری، نه تنها نقشی تعیین‌کننده، بلکه ارتباطی علی و مستقیم با ارتقای تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر ایفا می‌کنند. این یافته به وضوح نشان می‌دهد که هرگونه بهینه‌سازی یا ضعف در زیرساخت‌ها و سیاست‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل، مستقیماً بر قابلیت شبکه‌های ارتباطی در مواجهه با اختلالات و بازگشت به وضعیت عادی تأثیرگذار است. این ارتباط دو سویه و پویا، ماهیت پیچیده و سیستمی تعامل بین این دو حوزه را برجسته می‌سازد.

۴. بحث

پژوهش حاضر با بررسی نقش هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه، به درک عمیق‌تری از تعامل پیچیده این دو مفهوم حیاتی دست یافته است. یافته‌های این تحقیق، با تأیید وجود رابطه‌ای قوی و معنادار بین این دو متغیر، بر اهمیت راهبردی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند به منظور تقویت انعطاف‌پذیری و پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در برابر چالش‌های گوناگون تأکید می‌کند. در تبیین این ارتباط، می‌توان استدلال کرد که هوشمندسازی، از طریق ارائه داده‌های دقیق و به‌روز، امکان مدیریت بهینه‌تر جریان ترافیک، کاهش زمان پاسخگویی به حوادث، مسیریابی هوشمند در شرایط اضطراری و تخصیص کارآمدتر منابع را فراهم می‌آورد. این قابلیت‌ها، به نوبه خود، ظرفیت شبکه حمل‌ونقل را برای حفظ عملکرد قابل قبول در شرایط عادی و بازیابی سریع‌تر پس از وقوع اختلالات غیرمترقبه افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، هوشمندسازی نه تنها کارایی روزمره سیستم حمل‌ونقل را بهبود می‌بخشد، بلکه به عنوان یک سپر دفاعی در برابر شوک‌های ناگهانی عمل کرده و از بروز فروپاشی کامل شبکه جلوگیری می‌کند. با نگاهی به پژوهش‌های پیشین، می‌توان دریافت که نتایج این تحقیق در راستای روندهای کلی مطالعات انجام شده در این حوزه قرار دارد. برای مثال، یافته‌های دینی و همکاران (۲۰۲۵) اگرچه در زمینه لجستیک بین‌المللی و با تمرکز بر بنادر و کانتینرهای هوشمند مطرح شده است، اما بر اهمیت بنیادین حمل‌ونقل هوشمند در بهبود عملکرد و

کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل تأکید دارد، امری که پژوهش حاضر در مقیاس درون‌شهری آن را تأیید می‌کند. در مقابل، پژوهش بورووسکا و همکاران (۲۰۲۴) که ارتباط معناداری بین سیل و کاهش دسترسی نیافته است، با یافته‌های ما که نشان از تأثیر عوامل مختلف بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی دارد، در تضاد است و احتمالاً ناشی از تفاوت در زمینه مطالعاتی یا ویژگی‌های خاص منطقه مورد بررسی آن‌ها باشد. با این حال، پژوهش‌های وقار و همکاران (۲۰۲۳)، سردار و همکاران (۲۰۲۲)، گانین و همکاران (۲۰۱۹) و لیو و همکاران (۲۰۱۸) همگی بر اهمیت عوامل گوناگون در موفقیت پروژه‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل و ارتقای تاب‌آوری شبکه‌ها تأکید دارند، که این امر با نتایج پژوهش ما همخوانی دارد و نشان می‌دهد که توجه به ابعاد مختلف، از جمله مسائل مدیریتی و فناوری، برای دستیابی به حمل‌ونقل هوشمند و شبکه‌های ارتباطی تاب‌آور ضروری است. به طور خاص، پژوهش کاوه و همکاران (۱۴۰۳) در زمینه نقش مدیریت یکپارچه شهری در تحقق حمل‌ونقل هوشمند، به اهمیت عوامل مدیریتی اشاره دارد که یافته‌های ما نیز با شناسایی شاخص مدیریتی به عنوان رتبه اول در حوزه هوشمندسازی، بر این موضوع صحه می‌گذارد. در زمینه تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، پژوهش احمدی (۱۴۰۲) با تمرکز بر تاب‌آوری کالبدی معابر شهری، همسو با دغدغه پژوهش حاضر در خصوص تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی است، اگرچه دامنه بررسی آن محدود به بعد کالبدی است. پژوهش‌های آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱)، علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰)، حکمت‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) و اناری و همکاران (۱۳۹۸) نیز هر یک به جنبه‌هایی از تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل پرداخته‌اند، اما پژوهش حاضر با بررسی جامع‌تر شاخص‌های هوشمندسازی و تاب‌آوری و تبیین رابطه ساختاری بین آن‌ها، به درک عمیق‌تری از این ارتباط در بستر شهر کرمانشاه دست یافته است.

۵. نتیجه‌گیری

شاخص‌ها به عنوان معیارهای سنجش عملکرد سیستم‌های ITS، نقش حیاتی در ارزیابی اثربخشی این سیستم‌ها ایفا می‌کنند. با بررسی نقش هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی و انتخاب مناسب شاخص‌ها، می‌توان به طور دقیق میزان موفقیت سیستم‌های ITS در دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده را سنجید. در همین راستا پژوهش حاضر، با هدف نقش هوشمندسازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری در تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه صورت پذیرفته است. نتایج حاصله نشان داد که شاخص تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی و شاخص مدیریتی در هوشمندسازی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و شاخص‌های اقتصادی و تاب‌آوری حرکت سواره نقش کلیدی در تقویت این ارتباط ایفا می‌کنند. این امر بر لزوم توجه ویژه به این عوامل در برنامه‌ریزی‌های شهری کرمانشاه تأکید می‌کند تا از این طریق بتوان ضمن بهره‌مندی از مزایای حمل‌ونقل هوشمند، سطح تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی را در برابر اختلالات و بحران‌های احتمالی ارتقا داد. در نهایت، پژوهش حاضر با اتخاذ رویکردی سه‌بعدی و نوآورانه، گام‌های مهمی در پیشبرد دانش حوزه هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی برداشته است. از منظر محتوایی، این مطالعه برای نخستین بار به صورت تلفیقی و جامع به بررسی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی می‌پردازد. این رویکرد بدیع، با گردآوری و تحلیل بی‌سابقه حجم قابل‌توجهی از شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مرتبط (۹ شاخص اصلی با ۳۵ زیرشاخص برای هوشمندسازی و ۵ شاخص اصلی با ۲۱

زیرشاخص برای تاب‌آوری)، منجر به جامعیت و گستردگی بی‌نظیری در این زمینه شده و تصویری عمیق‌تر از پیچیدگی‌های موضوع ارائه می‌دهد. از نظر روش‌شناختی، نوآوری پژوهش در به‌کارگیری مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) با رویکرد حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) برای تحلیل این موضوع خاص است که تا به امروز در بررسی روابط میان هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی مورد استفاده قرار نگرفته بود. این متدولوژی پیشرفته، امکان تحلیل همزمان روابط پیچیده میان سازه‌ها و متغیرها را با دقت و قدرت بالا فراهم می‌آورد. در نهایت، از بعد مکانی، انتخاب شهر کرمانشاه به عنوان اولین مورد پژوهشی در این حوزه، یک جنبه دیگر از نوآوری این مطالعه را برجسته می‌سازد؛ این انتخاب می‌تواند مدل‌ها و یافته‌های ارائه‌شده را به عنوان مبنایی کاربردی برای مطالعات آتی در سایر شهرهای مشابه مطرح نماید. در مجموع، پژوهش حاضر با ارائه یک دیدگاه جامع و تأکید بر عوامل کلیدی، نه تنها به دانش موجود در این زمینه افزوده، بلکه با بررسی شاخص‌های بیشتر نسبت به پژوهش‌های دیگر، از جامعیت بی‌نظیری برخوردار است.

کتاب‌نامه

- احمدی، ت.، فنی، ز.، رضویان، م.، و توکلی‌نیا، ج. (۱۳۹۸). مدل ترکیبی اولویت‌بندی استراتژی‌های حمل‌ونقل هوشمند مورد پژوهی: کلانشهر تبریز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۷)، ۴۴-۲۵.
- آزادخانی، پ.، سلاورزی زاده، م.، و شاهمرادیان، ا. (۱۴۰۱). سنجش میزان تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل شهر ایلام. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، ۲۲(۶۴)، ۱۳۸-۱۲۱.
- اناری، ف.، اقبالی، ناصر.، و مویدفر، رضا. (۱۳۹۸). تحلیل و ارزیابی متغیرهای موثر بر ارتقای تاب‌آوری شبکه معابر شهری در برابر بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت (نمونه موردی: مناطق ۵ گانه حوزه شرقی شهر تهران). *فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)*، ۹(۳۵)، ۳۶۴-۳۵۱.
- بخشی سنجدری، ر.، 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.
- پویا، ر.، بسته‌نگار، م.، مکرمی، آ. (۱۴۰۱). تکنولوژی حمل‌ونقل هوشمند. راهبرد مواجهه با چالش‌های اساسی این بخش. *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، ۲۰(۴۸)، ۹۴-۷۷.
- حکمت‌نیا، ح.، نصیری‌هنده‌خاله، ا.، اسمعیلی، ف.، نظافت‌تکله، ب.، فتاحی، د.، و مقدم، د. (۱۴۰۰). بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهر کرج (مطالعه موردی: خیابان‌های شهید بهشتی و آزادی). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰(۴)، ۱۷۳-۱۵۱.
- علی‌محمدی، ا.، متولی، ص.، و رجبی، آ. (۱۴۰۰). ارائه الگو برای مدیریت راهبردی تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری در منطقه یک شهر تهران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵(۷۷)، ۱۸۴-۱۷۱.
- قدیک‌لو، د. (۱۳۹۵). توسعه چهارچوب مدل ارزیابی مدیریت ترافیک شهری بر پایه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، تهران، دومین کنفرانس جامع مدیریت شهری ایران با رویکرد مدیریت یکپارچه شهری و شهر هوشمند، ۱-۱۲.
- کاوه، امیر.، کریمیان‌بستانی، مریم.، و میری، غلامرضا. (۱۴۰۳). نقش مدیریت یکپارچه در تحقق حمل‌ونقل هوشمند (مطالعه موردی: شهر زاهدان). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۴ (۷۳): ۴۶-۲۶.

منابع انگلیسی:

- Abdelfattah, I., & El-Shamy, A. M. (2024). Review on the escalating imperative of zero liquid discharge (ZLD) technology for sustainable water management and environmental resilience. *Journal of Environmental Management*, 351, 119614.
- Adenekan, O. A., Ezeigweneme, C., & Chukwurah, E. G. (2024). The evolution of smart cities: Integrating technology, governance, and sustainable development. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(5), 891-902.
- Almatar, K. M. (2024). Smart transportation planning and its challenges in the Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainable Futures*, 8, 100238.
- Bıyık, C., Abareshi, A., Paz, A., Ruiz, R. A., Battarra, R., Rogers, C. D., & Lizarraga, C. (2021). Smart mobility adoption: A review of the literature. *Journal of open innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 146.
- Chen, Y., Wang, W., & Chen, X. M. (2023). Bibliometric methods in traffic flow prediction based on artificial intelligence. *Expert Systems with Applications*, 228, 12-32.
- Chung, S. H. (2021). Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 153, 102455.
- Cutter, S (2018), "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters", *Global Environmental Change*.
- Dini, N., Yaghoubi, S., & Bahrami, H. (2025). Logistics Performance Index-driven in operational planning for logistics companies: A smart transportation approach. *Transport Policy*, 160, 42-62.
- Dogra, A. K., & Kaur, J. (2022). Moving towards smart transportation with machine learning and Internet of Things (IoT): a review. *Journal of Smart Environments and Green Computing*, 2(1), 3-18.
- Gonzalez, R. A., Ferro, R. E., & Liberona, D. (2020). Government and governance in intelligent cities, smart transportation study case in Bogotá Colombia. *Ain shams engineering journal*, 11(1), 25-34.
- Husdal, J. (2019), Transport Network Vulnerability: Which Terminology and Metrics Should We Use? *Paper presented at the NECTAR Cluster 1 Seminar, Norway*: 1-9.
- Israilidis, J., Odusanya, K., & Mazhar, M. U. (2021). Exploring knowledge management perspectives in smart city research: A review and future research agenda. *International Journal of Information Management*, 56, 101989.
- 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.
- Jiang, H., Geertman, S., and Witte, P. (2020). Avoiding the planning support system pitfalls? What smart governance can learn from the planning support system implementation gap? *EPB: Urban Analytics and City Science*, 47(8), pp. 1343– 1360.
- John, S. K., Sivaraj, D., & Mugelan, R. K. (2019). Implementation Challenges and Opportunities of Smart City and Intelligent Transport Systems in India. *In Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* (pp. 213-235).
- Liao, T. Y., Hu, T. Y., & KO, Y. N. (2018). A resilience optimization model for transportation networks under disasters. *Natural hazards*, 93, 469-489.
- Lozano, D. L. A., Márquez, S. E. D., & Puentes, M. E. M. (2021). Sustainable and smart mobility evaluation since citizen participation in responsive cities. *Transportation research procedia*, 58, 519-526.
- Lu, M. T., Lu, H. P., & Chen, C. S. (2022). Exploring the Key Priority Development Projects of Smart Transportation for Sustainability: Using Kano Model. *Sustainability*, 14(15), 93-109.
- Mathew, E. (2019). Intelligent Transport Systems and Its Challenges. *In International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics* (pp. 663-672).
- Mboup, G. (2017). Smart infrastructure development makes smart cities—Promoting smart transport and ICT in Dakar. *Smart Economy in Smart Cities: International Collaborative Research: Ottawa, St. Louis, Stuttgart, Bologna, Cape Town, Nairobi, Dakar, Lagos, New Delhi, Varanasi, Vijayawada, Kozhikode, Hong Kong*, 871-904.

- Miraz, M. H., Ali, M., Excell, P. S., & Picking, R. (2015). A review on Internet of Things (IoT), Internet of everything (IoE) and Internet of nano things (IoNT). *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 219-224.
- Nagy, S., & Csiszár, C. (2020). The quality of smart mobility: A systematic review. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp.*, 109, 117–127.
- Nguyen, P. T., Nguyen, T. A., & Tran, T. H. T. (2021). Barrier factors affecting development of intelligent transport system projects. *Journal of process management and new technologies*, 9 (3-4), 100-120.
- Ning, Z., Xia, F., Ullah, N., Kong, X., & Hu, X. (2017). Vehicular social networks: Enabling smart mobility. *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 16-55.
- 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.
- Pham, T. N., Tsai, M. F., Nguyen, D. B., Dow, C. R., & Deng, D. J. (2015). A cloud-based smart-parking system based on Internet-of-Things technologies. *IEEE access*, 3, 1581-1591.
- Serdar, M. Z., Koç, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2022). Urban transportation networks resilience: indicators, disturbances, and assessment methods. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103452.
- Sharifi, A., Kawakubo, S., & Milovidova, A. (2020). Urban sustainability assessment tools: Toward integrating smart city indicators. In *Urban, systems design* (pp. 345-372). Elsevier.
- Wang, Y., Chen, Z., Zhang, C., Hu, H., Zhang, Z., & Zhu, M. (2024). Digital Twin-Driven Smart Transportation Infrastructure: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues. In *2024 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Waqar, A., Alshehri, A. H., Alanazi, F., Alotaibi, S., & Almujibah, H. R. (2023). Evaluation of challenges to the adoption of intelligent transportation system for urban smart mobility. *Research in Transportation Business & Management*, 51, 101060.
- Wu, S. M., Chen, T. C., Wu, Y. J., & Lytras, M. (2018). Smart cities in Taiwan: A perspective on big data applications. *Sustainability*, 10(1), 106.
- Xu, M., Liu, T., Zhong, S. P., & Jiang, Y. (2022). Urban smart public transport studies: a review and prospect. *J. Transp. Syst. Eng. Inf. Technol.*, 22(2), 91-108.
- Yigitcanlar, T., & Kamruzzaman, M. (2020). Smart cities and mobility: Does the smartness of Australian cities lead to sustainable commuting patterns? In *Smart Cities and Innovative Urban Technologies* (pp. 21-46). Routledge.
- Zhang, Y., Zhao, H., Wang, K., Liang, J., Qiu, H., & Kou, L. (2024). Spatiotemporal assessment of post-earthquake road network resilience using a data-driven approach. *Sustainable Cities and Society*, 113, 105675.

The role of smart urban transportation network in the resilience of communication networks (Case study: Kermanshah city)

Abstract:

Smart urban transportation, relying on modern technologies, plays a key role in enhancing the resilience and unparalleled strength of urban communication networks. In this regard, 9 main indicators (including 35 sub-indicators) related to smart urban transportation have been used, including the dimensions of infrastructure-technical, safety and security, management, economic, legal, physical, communication and information, environmental and socio-cultural. Also, to measure the resilience of communication networks, 5 indicators (including 21 sub-indicators) have been examined, which include the resilience of motorized traffic, the resilience of pedestrians and cyclists, the resilience of the street against natural disasters, the resilience of citizens against crime, and the resilience against adverse weather conditions. In fact, this study attempts to evaluate the role of smart urban transportation network on the resilience of communication networks in Kermanshah city using the structural equation modeling (SEM) method. The statistical population of the present study was 384 citizens of Kermanshah city and the research tools were analyzed with correlation analysis and

structural equation modeling methods using SPSS and SMART PLS software. The results of structural equation modeling indicate a strong and significant relationship ($P < 0.05$) between smart transportation indicators and the resilience of communication networks, which indicates that with increasing somatization of urban transportation, the level of resilience of communication networks increases. In addition, the model fit indices also show that the data are well consistent with the conceptual model of the research and have the necessary fit, which confirms that the proposed model is able to correctly explain the relationship between the variables under study. Finally, the results showed that in the field of resilience of communication networks, the street resilience index against natural disasters and in the field of somatization of urban transportation, the management index have obtained the first rank, and the economic index and the resilience of riding, as the strongest effective factors, play a key role in this relationship. These findings clearly demonstrate the direct and significant impact of smart transportation indicators on the resilience of communication networks in Kermanshah city and emphasize the need to pay special attention to these indicators in urban planning.

Keywords: Urban transportation, smart urban transportation, resilience, SMART PLS, Kermanshah city.

نسخه
پیش
انتشار