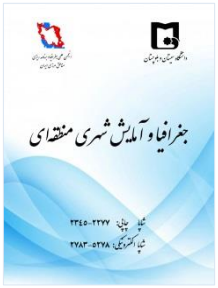
جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۲۲۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۷۸
دانشگاه سیستان و بلوچستان

آینده‌پژوهی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی (نمونهٔ موردی: شهر کرمانشاه)

نساء هاشمی [۱]، مسلم رستمی [۲*]، پژمان ناجی ضیایی [۳]، مریم انصاری‌منش [۴]

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای
بهار ۱۴۰۵، سال ۱۶، شمارهٔ ۵۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹
صفحات : ۱۱۸-۹۳



واژه‌های کلیدی:
هوشمندسازی، حمل ونقل درون‌شهری، تاب‌آوری، آینده‌پژوهی، «MicMac»، شهر کرمانشاه.

چکیده

رشد شهرنشینی و پیچیدگی‌های روزافزون، اهمیت تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در برابر بحران‌ها را افزایش داده است. در این شرایط، هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری با استفاده از فناوری‌های جدید، به‌عنوان یک راهبرد کلیدی برای مدیریت پیش‌فعال و واکنش سریع در شرایط اضطراری مطرح‌می‌شود. در همین راستا، هدف پژوهش حاضر ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه است پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی، از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی و از حیث روش، ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و پیمایشی و مبتنی بر رویکرد آینده‌پژوهی می‌باشد. قلمرو پژوهش، شهر کرمانشاه بوده است. جامعهٔ آماری این پژوهش ۵۰ نفر از کارشناسان حمل‌ونقل شهری، راه و شهرسازی و کارشناسان شهرداری است. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش دلفی و ماتریس اثرات متقاطع(میک‌مک) استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان‌داد از میان ۴۶ عامل اصلی تأثیرگذار بر نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، ۲۷ متغیّر به‌عنوان کلیدی و تأثیرگذار شناخته شده‌اند که این متغیّرها بیشترین تأثیرگذاری و کمترین تأثیرپذیری را بر آیندهٔ توسعهٔ نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه دارند. همچنین نتایج نشان‌داد که عوامل تاب‌آوری محیطی و عابر پیاده مانند پیاده‌روهای مسقّف، پیشران‌های اصلی سیستم هستند و بیشترین نیروی تأثیرگذاری را دارند. این در حالی‌است که شاخص‌های هوشمندسازی، به‌ویژه پارکینگ‌های هوشمند، عمدتاً تأثیرپذیر هستند؛ لذا موفقیت آینده در گرو اولویت‌دهی به زیرساخت‌های کالبدی تاب‌آوری برای ایجاد بستر مناسب جهت استقرار فناوری‌های هوشمند است.

مقدمه

شهرها، به‌عنوان موتورهای محرک اقتصاد جهانی و مراکز ثقل جمعیت، کانون اصلی فعالیت‌ها و زیرساخت‌های حیاتی قلمداد می‌شوند. با این‌حال، رشد فزایندهٔ شهرنشینی در دهه‌های اخیر، چالش‌های پیچیده‌ای را در زمینهٔ مدیریت شهری، به‌ویژه حمل‌ونقل درون‌شهری ایجاد کرده است (Zheng et al,2025:3). این افزایش تراکم جمعیت، گسترش فیزیکی شهرها و تعدد سفرهای روزانه، به‌طور مستقیم به معضلاتی چون: ترافیک سنگین، آلودگی هوا، هدررفت انرژی و کاهش ایمنی منجر شده است؛ بنابراین، این وضعیت حاد، لزوم ارتقای فوری زیرساخت‌ها را به یک اولویت ملی تبدیل کرده است (Lin et al,2025). در این میان، سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری به‌دلیل نقش حیاتی خود در گردش خون اقتصادی و اجتماعی شهر، بیش از هر بخش دیگری تحت فشار قراردارند چرا که سیستم‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌های حیاتی برای رشد و شکوفایی جوامع در تمام سطوح، از محلی و

۱- دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. nesa.hashemi@iau.ac.ir
۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. (نویسنده مسئول) moslem.rostami@iau.ac.ir
۳- استادیار گروه معماری، واحد اسلام‌آباد غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. Najipezhman.Ziaei@iau.ac.ir
۴- استادیار گروه معماری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. m.ansarimanesh@iau.ac.ir

منطقه‌ای گرفته تا ملی و بین‌المللی هستند (Wu et al,2025).

در سطح محلی، گسترش شهرهای بزرگ و مدرن به‌دلیل افزایش جمعیت، سیستم‌های حمل‌ونقلی را ضروری می‌سازد که بتوانند به‌طور مؤثر به جمعیت انبوهی که فعالیت‌های گوناگون انجام‌می‌دهند، خدمات‌رسانی کنند و در عین‌حال، الزامات مربوط به مسائل زیست‌محیطی را نیز برآورده سازند (Tamvakis &Xenidis,2012:3443). در واقع، بخش حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی اقتصاد ملی، نقشی اساسی در تمامی مراحل تولید، توزیع و مصرف کالا و خدمات ایفا می‌کند (Lv & Shang,2023:18). همچنین، توسعه‌یافتگی هر کشوری بدون وجود یک شبکهٔ حمل‌ونقل گسترده، زیرساخت‌های مناسب و ناوگان کارآمد، عملاً غیرممکن به‌نظرمی‌رسد (پویا و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۸). بر همین اساس و با ظهور انقلاب دیجیتال، مفهوم هوشمندسازی حمل‌ونقل (ITS) به‌عنوان یک راه‌حل بنیادین و گریزناپذیر مطرح‌شد چرا که هوشمندسازی حمل‌ونقل با استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ و مدیریت تطبیقی، نه‌تنها کارایی و ایمنی شبکه را افزایش می‌دهد بلکه آن‌را برای مواجهه با اختلالات غیرمنتظره آماده می‌سازد (Wang et al,2025). به همین دلیل، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از دههٔ ۱۹۹۰ در آمریکا معرفی شدند تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به حل معضلات ترافیکی کمک‌کنند (پورجوان، ۱۳۹۸: ۲۵) به‌طوری که در قرن بیست‌ویکم، حمل‌ونقل به عامل تعیین‌کنندهٔ پیشرفت کشورها تبدیل شده و مدل‌های سنتی جای خود را به سیستم‌های مدرن و هوشمند داده‌اند که جابه‌جایی افراد را به‌صورت کارآمدتر تسهیل می‌کنند (Almatar,2020:17). از طرفی، ازآن‌جایی‌که ترافیک و حمل‌ونقل جزء لاینفک شهرهای مدرن هستند، تأثیرات قابل‌توجهی بر پایداری محیطی و اجتماعی-اقتصادی دارند و رشد جمعیت و تعداد وسایل نقلیه در شهرهای بزرگ به مشکلات متخالص مانند تراکم و حوادث ترافیکی منجر شده است (Stefaniec et al,2020:10).

در همین راستا، می‌توان‌گفت که سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شهری بستری مناسب برای کاهش پیامدهای منفی قرن بیستم در حوزهٔ حمل‌ونقل و ایجاد رویکردهای نوین و کارآمد در قرن بیست‌ویکم هستند؛ لذا لازم است معماری آن‌ها با توجه به نیازهای هر کشور طراحی‌شود تا از طریق چیدمان منطقی سیستم‌ها، بهره‌برداری بهینه از آن‌ها میسر گردد. در حقیقت، حمل‌ونقل هوشمند در برگیرندهٔ طیف وسیعی از پدیده‌ها و عوامل است که در شکل‌دهی و گسترش حمل‌ونقل در موقعیت‌های مختلف نقش‌آفرینی می‌کنند (امینی‌نژاد و افتخاری، ۱۳۸۶: ۲۹-۳۰). از این منظر، هدف غایی از هوشمندسازی، صرفاً کاهش ترافیک نیست بلکه افزایش تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی است (Barikdar et al,2025) زیرا تاب‌آوری، به‌معنای توانایی سیستم در جذب، تطبیق و بازیابی سریع عملکرد خود پس از مواجهه با شوک‌هایی نظیر: بلایای طبیعی، حملات سایبری یا سوانح بزرگ تعریف می‌شود؛ بنابراین، بررسی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل در تقویت تاب‌آوری شبکه‌ها، نه‌تنها یک نیاز فنی بلکه یک ضرورت استراتژیک برای تضمین پایداری و حیات شهرهای آینده محسوب می‌شود (Li et al,2025). چراکه تاب‌آوری و پایداری دو مفهوم کلیدی و درهم‌تنیده در مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل شهری هستند. در نهایت، تاب‌آوری بر توانایی یک سیستم برای مقاومت در برابر اختلالات، جذب شوک‌ها و بازیابی سریع عملکرد خود اشاره دارد که نقشی حیاتی در دستیابی به پایداری بلندمدت ایفا می‌کند (Zeng et al,2022). چنان‌چه سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به‌طور فزاینده‌ای در برابر انواع اختلالات، از جمله ازدحام، تصادفات و شرایط آب‌وهوایی نامناسب

آسیب‌پذیرند که همگی به تأخیرهای پرهزینه منجرمی‌شوند و نیاز به توجه بیشتر بـه تـاب‌آوری در برنامـه‌ریزی‌های آتی را برجسته می‌سازند (Ganin et al,2017).

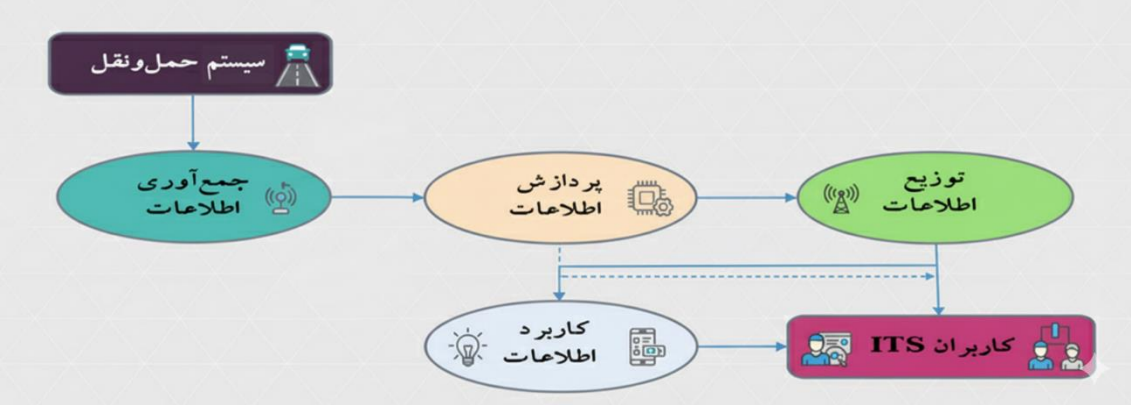
شهر کرمانشاه، به‌عنوان قلب تپندهٔ غرب کشور با جمعیتی بالغ بر ۹۴۶ هزار نفر و فعالیت‌های اقتصـادی رو بـه رشـد به‌عنوان یک شهر زلزله‌خیز بیش از هر زمان دیگری به زیرساخت‌های ارتبـاطی قدرتمنـد و تـاب‌آور نیازمنـد اسـت. هوشمندسازی شبکه‌های ارتباطی در این شهر، راهکاری حیاتی برای غلبه بر چالش‌های ناشـی از ترافیـک سـنگین، اختلالات مکرر و خطرپذیری‌های جغرافیایی است چرا که شبکه‌های هوشمند قادرند به‌صورت پویا منابع را مـدیریت کرده، ترافیک را بهینه‌سازی کنند و در مواجهه با بلایای طبیعی، با قابلیت اطمینان و انعطاف‌پـذیری بـالا، کمتـرین قطعی را تجربه نمایند؛ بنابراین، توسعهٔ این زیرساخت‌های هوشمند و تاب‌آور، نـه‌تنهـا کلیـد طلایـی توسـعهٔ پایـدار کرمانشاه و رفع کندی سرعت اینترنت است بلکه موتور محرک رونـق کسـب‌وکارها، توسـعهٔ خـدمات الکترونیکـی و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان در مسیر دستیابی به یک شهر هوشمند و پویـا خواهـد بـود؛ بنـابراین، عـدم یـک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و دقیـق، شـهر کرمانشـاه را در آینـده بـه شـهری کـه زیسـتن در آن دچـار مشـکل خواهدبود، تبدیل خواهد کرد چرا که تاب‌آوربودن شـبکه‌های ارتبـاطی بـدون توجـه بـه هوشمندسـازی حمل‌ونقـل درون‌شهری به‌تدریج تأثیرات جبران‌ناپذیر خود را نه‌تنها بر کالبد فیزیکی شهر بلکه در رفتار و هنجارهای عمـومی آن نیز خواهدگذاشت؛ بنابراین، باید با توجه به خواست و نیاز مردم اقدام به هوشمندسازی حمل‌ونقـل درون‌شـهری کرد که همهٔ این برنامه‌ها باید در قالب برنامه‌های آینده‌پژوهی مورد توجه قرارگیرد؛ از این‌رو، پژوهش حاضر سـعی‌دارد براساس نیاز به برنامه‌ریزی در حوزهٔ ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه انجام‌گیرد تا ضـمن مشـخص‌کـردن معیارهـای هوشمندسـازی حمل‌ونقـل درون‌شـهری، وضعیت این مؤلفه‌ها را در سطح شهر و در مناطق مختلف تبیین‌شود و از طریق رویکـرد آینـده‌پژوهـی مهـم‌تـرین عوامل تأثیرگذار و چگونگی تأثیرگذاری و میزان این عوامل بر یکدیگر و بر وضعیت آیندهٔ شـهر کرمانشـاه بـه‌لحـاظ تغییرات تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شناسایی‌گردند. با توجه به آن‌چه ذکرشد، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه مبنی بـر رویکـرد آینـده‌پژوهی در راسـتای پاسـخگویی بـه پرسـش زیـر انجـام گرفته‌اسـت؛ پیشـران‌های کلیـدی مـؤثر بـر نقـش ارزیـابی نقـش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه کدام هستند؟

مبانی نظری پژوهش

برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درون‌شهری با تعیین بهینهٔ مدل‌های حمل‌ونقل بین مناطق مختلف شهری آغاز می‌شود و بـه توسعهٔ زیرساخت‌ها و فرهنگ‌سازی برای دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده منتهـی می‌گـردد. پـایش و ارزیـابی مداوم نتایج برای اتخاذ تصمیمات آینده در این حوزه یک الزام ساختاری است (پاکـدامن و همکـاران، ۱۴۰۰: ۷۰۶). در این راستا، هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری به‌معنای به‌کارگیری فناوری‌های اطلاعات، ارتباطـات و کنتـرل بـرای بهبود عملکرد شبکه‌های حمل‌ونقلی تعریف می‌شود (Jami Pour et al, 2024:452). در واقـع، حمل‌ونقـل هوشـمند به‌عنوان بخش مهمی از شهرهای هوشمند، با هدف ارتقای کیفیت زندگی مردم از طریق فناوری اطلاعات، بـه‌دنبـال کاهش آلودگی صوتی، تراکم ترافیک، مصرف انرژی و در عین‌حال بهبود سلامت، ایمنی و سرعت جابـه‌جـایی اسـت (Zhou et al, 2020:12). در گذشته، تمرکز بـر توسـعهٔ وسـایل حمل‌ونقـل اغلـب کیفیـت زنـدگی مـردم را نادیـده

می‌گرفت و منجر به آلودگی‌های محیطی می‌شد. به‌همین دلیل، بسیاری از شهرها برای دستیابی به این اهداف و "هوشمند شدن"، بیش از یک دهه است که در خدمات هوشمند سرمایه‌گذاری کرده‌اند و زیربنای مستحکمی برای توسعهٔ حمل‌ونقل هوشمند ایجادکرده‌اند (Chen et al, 2017: 385). رویکرد حمل‌ونقل هوشمند، علاوه بر تأکید بر کارایی سیستم و جریان ترافیک، به‌دنبال ارتقای کیفیت زندگی و تجربهٔ افراد است. این مفهوم در دو مرحله تکامل یافته است: ۱) بهبود فناوری و بهینه‌سازی ابزارهای برنامه‌ریزی و ۲) درنظرگرفتن مصرف‌کنندگان به‌عنوان جزء اصلی سیستم (Bouzguenda et al, 2019:11). به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) در حوزهٔ حمل‌ونقل نه‌تنها راه‌حلی برای مشکلات ترافیک شهری ارائه‌می‌دهد بلکه خدمات ارزش افزوده متنوعی را نیز در اختیار مردم قرارمی‌دهد و تجربه‌های متفاوتی برای آن‌ها رقم‌می‌زند (Oladimeji et al, 2023:17). برای استفاده‌کنندگان از حمل‌ونقل عمومی، ICT خدمات مختلفی از برنامه‌ریزی مسیر و بررسی وضعیت ترافیک تا خدمات اضافی مانند اینترنت بی‌سیم و پرداخت الکترونیکی فراهم‌می‌کند. همچنین برای رانندگان، خدمات ایمنی و راحتی مانند: ناوبری، تشخیص ایمنی جاده و سیستم‌های الکترونیکی عوارض را ارائه‌می‌دهد (Garau et al, 2016:36).

اگرچه هنوز یک تعریف واحد و جهانی برای حمل‌ونقل هوشمند (ITS) وجود ندارد، توافق نسبی بر سر چندین تعریف کلیدی وجود دارد. انجمن حمل‌ونقل هوشمند آمریکا (در سال ۱۹۹۸) ITS را به‌عنوان "استفادهٔ مؤثر از فناوری در حمل‌ونقل برای صرفه‌جویی در وقت، پول و زندگی روزمرهٔ مردم" تعریف کرده است (طیبی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۹۴). این مفهوم همچنین به‌طور کلی شامل: به‌کارگیری هدفمند فناوری‌های مرتبط با جمع‌آوری، پردازش و توزیع اطلاعات برای ارتقای ایمنی، بهره‌وری اقتصادی و کنترل آلودگی‌های محیطی است. ادارهٔ حمل‌ونقل آمریکا (در سال ۱۹۹۹) ITS را سیستمی می‌داند که با استفاده از فناوری‌های نوین الکترونیکی، سیستم‌های ارتباطی و کنترلی، ایمنی، کارایی و ارزانی را افزایش می‌دهد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۱). در اصل، ITS یک راه‌حل مؤثر برای مدیریت ترافیک است که با به‌کارگیری فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به‌دنبال هم‌افزایی کنترل و بهبود عملکرد یکپارچهٔ شبکهٔ حمل‌ونقل است (ذوقدار و شبانی، ۱۳۹۷: ۳). هدف اصلی ITS، یافتن مؤثرترین راه برای حل یا به‌حداقل‌رساندن مشکلات ترافیکی است. این سیستم رویکردی کل‌نگر و دانش‌محور دارد و تمامی عناصر شبکهٔ حمل‌ونقل (شامل: خودرو، زیرساخت و ارتباطات) را درنظرمی‌گیرد و به‌عنوان سیستم پشتیبان مدیریت ترافیک، نگهداری راه‌ها و حمل‌ونقل عمومی نیز عمل‌می‌کند (انوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۷). در بلندمدت، سیستم‌های ITS به‌دنبال جایگزینی رویکردهای سنتی با راه‌حل‌های نوین برای کاهش تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های ناشی از فناوری هستند (Janušová & Čičmancová, 2016: 15). مهدیزاده و همکاران(۱۳۸۹) و نادران و چوپانی(۱۳۹۰) معتقدند که اساس ابزارهای مورد استفاده در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر «جمع‌آوری»، «پردازش»، «یکپارچگی»، «هماهنگی» و «ارائه» با کاربست ابزارهای مبتنی بر مدیریت دانش نظیر: «اطلاعات» و «ارتباطات است. این سیستم قابلیت آن‌را دارد که داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم حمل‌ونقل همگانی را ذخیره و ارزیابی کرده و ابزار تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی یکپارچه‌ای را برای سیاست‌گزاران این حوزه فراهم‌نماید (شکل ۱).



شکل (۱). ابزارهای مورد استفاده در سیستم حمل‌ونقل هوشمند

منبع: (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۲)

همچنین سیستم هوشمند حمل‌ونقل، به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین از قبیل: پردازش اطلاعات الکترونیک، ارتباطات و سیستم‌های کنترل و دیگر فناوری‌های ارتباطی و استراتژی‌های مدیریت به‌گونه‌ای هماهنگ و یکپارچه به‌منظور ارتقای سطح ایمنی، کارایی و ارزانی در حمل‌ونقل است. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل براساس فناوری‌های کنترل اطلاعات کار می‌کنند که در واقع هستهٔ اصلی وظایف و عملکرد چنین سیستم‌هایی می‌باشند (بخشی سنجدری و دریاباری،۱۳۹۹: ۳۲).

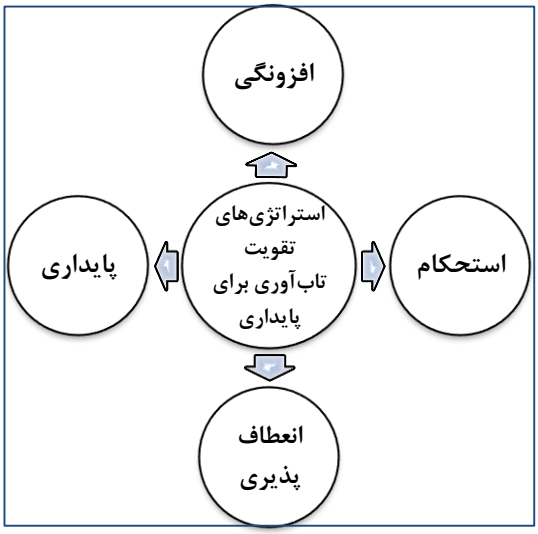
رویکردهای تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

رویکردهای مفهومی تاب‌آوری در حوزهٔ سوانح طبیعی براساس توانایی سیستم برای ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار با تغییر، در سه دستهٔ اصلی خلاصه می‌شوند؛ نخست، تاب‌آوری به‌عنوان پایداری که برگرفته از مطالعات اکولوژیکی است، تاب‌آوری را به‌مثابه مقدار اختلالی تعریف می‌کند که یک سیستم می‌تواند قبل از انتقال به حالت دیگر تحمل کند و جوامع تاب‌آور دارای آستانهٔ بالایی برای جذب فشار هستند (Windle, 2021: 154). دوم، تاب‌آوری به‌عنوان بازیابی که بر توانایی جامعه برای بازگشت به حالت صرف‌شدهٔ قبلی پس از یک اختلال متمرکز است و تاب‌آوری براساس زمان لازم برای بازیابی سنجیده می‌شود به‌طوری که جامعهٔ تاب‌آور نسبتاً سریع بازمی‌گردد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶). سوم، تاب‌آوری به‌عنوان دگرگونی که بیشتر با تاب‌آوری اجتماعی در ارتباط است و ظرفیت جامعه برای واکنش انطباقی به تغییر را بیان‌می‌کند. این رویکرد به‌جای بازگشت صرف به حالت قبل، بر تغییر به یک حالت جدید و پایدارتر در محیط موجود تأکید دارد، تغییر را اجتناب‌ناپذیر می‌داند و ویژگی‌های دینامیک جوامع و مسیرهای پتانسیل چندگانه را می‌پذیرد (Matyas and Pelling, 2015: 8).

استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری برای پایداری شبکه‌های ارتباطی

امروزه، شبکه‌های ارتباطی به‌مثابه شریان‌های حیاتی جامعه عمل‌می‌کنند و پایداری آن‌ها برای عملکرد روان اقتصاد، امنیت ملی و زندگی روزمره ضروری است. با افزایش پیچیدگی و آسیب‌پذیری این شبکه‌ها در برابر تهدیدات متعدد، از بلایای طبیعی گرفته تا حملات سایبری، تاب‌آوری به عنصری کلیدی برای تضمین پایداری آن‌ها تبدیل شده است. استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری، مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه و واکنشی هستند که به شبکه‌ها کمک می‌کنند تا در برابر اختلالات مقاومت کرده، عملکرد خود را حفظ کنند و پس از آسیب، به‌سرعت بهبود یابند. این

مقدمه به بررسی این استراتژی‌ها می‌پردازد (Hosseini et al,2016: 51). برای افزایش تاب‌آوری در جهت دستیابی به پایداری، می‌توان از راهکارهای زیر استفاده کرد:



شکل(۲).استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری برای پایداری
منبع: (Faturechi & Miller-Hooks,2015:3).

نقش حمل‌ونقل شهری در ارتقای تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهرهای آینده

امروزه، سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به‌دلیل نقش حیاتی‌شان به‌عنوان شریان‌های اصلی اقتصادی، اجتماعی و امدادی در شهرها و همچنین به‌عنوان مسیرهایی برای گسترش ریسک‌ها، نیازمند تقویت تاب‌آوری هستند (Bellini et al, 2017: 27). با افزایش جمعیت شهری و وابستگی فزاینده میان زیرساخت‌های فیزیکی و دیجیتال و همچنین تهدیداتی مانند تغییرات اقلیمی و تروریسم، سیستم‌های حمل‌ونقل با چالش‌های بزرگی روبه‌رو شده‌اند؛ بنابراین، ضرورت دارد که روش‌ها و فناوری‌های جدید برای ارتقای عملی تاب‌آوری این سیستم‌ها، با استفاده از داده‌های تولیدشده در شهرهای هوشمند، مورد بررسی قرارگیرند (Bellini et al, 2021). در واقع سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، به‌دلیل ماهیت پیچیده و شبکه‌ای‌شان، به‌عنوان سیستم‌های اجتماعی-فنی شناخته می‌شوند که در آن‌ها تعامل پیچیده‌ای بین زیرساخت‌های فناوری و عامل انسانی وجود دارد. در چنین سیستمی، ایمنی و امنیت پیش‌شرط‌های اصلی عملکرد موفق هستند و تاب‌آوری در برابر حملات سایبری اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا آسیب‌پذیری‌های ذاتی زیرساخت‌های ICT را کاهش‌می‌دهد؛ بنابراین، حمل‌ونقل هوشمند یک رویکرد جامع اجتماعی-فنی است که نقشی حیاتی در افزایش انعطاف‌پذیری شبکه‌های ارتباطی ایفا می‌کند تا شهرها بتوانند در برابر اختلالات (ناشی از بلایای طبیعی یا حملات سایبری) مقاوم‌تر عمل‌کنند (Roy et al, 2021: 5019). یکی از عوامل کلیدی این ارتقای تاب‌آوری، اتصال و تبادل داده‌های بلادرنگ از طریق فناوری‌هایی مانند G۵ و اینترنت‌اشیا (IoT) است. این تبادل لحظه‌ای امکان نظارت فوری، شناسایی زودهنگام مشکلات و واکنش سریع در شرایط اضطراری (مانند ارائهٔ مسیرهای جایگزین) را فراهم‌می‌کند. علاوه بر این، استفاده از دوقلوهای دیجیتال به شبیه‌سازی دقیق شبکه کمک می‌کند تا بتوان استراتژی‌های مقابله‌ای را از پیش تعیین‌نمود (Oseni et al, 2023:

1003). با وجود مزایای فراوان، پیاده‌سازی حمل‌ونقل هوشمند با موانع قابل‌توجهی روبه‌روست که بر تاب‌آوری آن تأثیر می‌گذارد. بزرگ‌ترین چالش، امنیت سایبری است. شبکه‌های هوشمند به‌شدت به داده‌ها و ارتباطات وابسته هستند و در برابر حملات سایبری مانند نفوذ، باج‌افزار و اختلال در سرویس بسیار آسیب‌پذیرند؛ یک حملهٔ موفق می‌تواند به فلج‌شدن کامل سیستم منجرشود. موانع دیگر شامل فشار محاسباتی ناشی از حجم عظیم داده‌ها و عدم هماهنگی میان نهادها و استانداردهای متفاوت است که مانع از ایجاد یک سیستم یکپارچه و تاب‌آور می‌شود. غلبه بر این موانع و بنا نهادن آینده‌ای ایمن و تاب‌آور، نیازمند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های امنیتی، توسعهٔ استانداردهای مشترک و همکاری نزدیک میان بخش‌های دولتی، خصوصی و دانشگاهی است (Li et al, 2023: 15819).

نظریه‌های تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

در بخش پیش‌رو، براساس ضرورت بحث، مهم‌ترین نظریه‌های این حوزه مورد تحلیل و ارزیابی قرارخواهندگرفت.

مطالعات تاب‌آوری در شبکه‌های حمل‌ونقل و ارتباطی بر پایهٔ چندین نظریهٔ بنیادین استوار است که هر یک ابزاری برای مدل‌سازی، تحلیل و کنترل پیچیدگی‌های این سیستم‌ها فراهم‌می‌کنند. نظریهٔ گراف یک چارچوب ریاضی ضروری است که شبکه‌ها را به‌صورت گره‌ها (اجزا) و یال‌ها (پیوندها) مدل‌سازی کرده و تاب‌آوری را از طریق معیارهایی مانند اتصال‌پذیری و برش‌های گره‌ای سنجش می‌کند. این رویکرد توسط نظریهٔ شبکه‌های پیچیده بسط داده می‌شود که با تبدیل سیستم‌ها به گراف، ویژگی‌های حیاتی مانند ارتباط‌پذیری و مرکزیت را اندازه می‌گیرد تا نقاط آسیب‌پذیر و میزان تأثیر اختلالات هدفمند یا تصادفی بر کارایی کل شبکه پیش‌بینی شود (Xu et al, 2021: 12688؛ De Bona et al, 2021: 12). این تحلیل ساختاری با درک رفتار پویا تکمیل‌می‌شود. نظریه سیستم‌های پیچیدهٔ ترافیک شهری را به‌عنوان یک سیستم متشکل از اجزای متعدد درنظرمی‌گیرد تا تعاملات و رفتار آن بهتر درک شود (Lin & Ban, 2013: 659)، در حالی‌که نظریهٔ کنترل بهینه با مدل‌سازی رفتار دینامیکی، مکانیزم‌های خودکار برای بازسازی و انطباق شبکه (مانند الگوریتم‌های مسیریابی دینامیک) را در برابر اختلالات طراحی‌می‌کند (Zanin et al, 2018: 33). علاوه بر این، نظریه اطلاعات به ارزیابی میزان اطلاعات قابل انتقال و افزایش تاب‌آوری در برابر ازدست‌رفتن داده و حملات سایبری کمک می‌کند (Auld et al, 2017: 4)، و نظریه بازی‌ها با تحلیل تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بین عوامل هوشمند (مانند رانندگان یا مهاجمان و مدافعان) به پیش‌بینی رفتار کاربران و بهبود همکاری می‌پردازد (Nigam et al, 2023: 584). در مجموع، این نظریه‌ها با هم چارچوبی جامع برای طراحی شبکه‌هایی ارائه‌می‌دهند که نه‌تنها کارآمد بلکه در برابر شوک‌ها و تنش‌های آینده نیز مقاوم باشند. به‌کارگیری این نظریه در طراحی شبکه‌های حمل‌ونقل، مهندسان را قادرمی‌سازد تا تمرکز خود را از کارایی صرف به‌سمت ترکیب آن با تاب‌آوری تغییر دهند. با تحلیل توپولوژی شبکه و سناریوهای مختلف اختلال، می‌توان شبکه‌هایی طراحی‌کرد که در برابر حوادث، عملکرد خود را حفظ‌کرده و سریع‌تر بهبود یابند. این رویکرد، راه را برای ایجاد سیستم‌های حمل‌ونقل کارآمد، پایدار و مقاوم در برابر شوک‌ها و تنش‌های غیرمنتظره در شهرهای آینده هموار می‌سازد.

متون پیشینهٔ ارائه‌شده، دربرگیرندهٔ طیف گسترده‌ای از مطالعات داخلی و خارجی در حوزهٔ تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل و شبکه‌های ارتباطی هستند. این پژوهش‌ها به‌طور کلی به دو محور اصلی تقسیم می‌شوند: سنجش و تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌های موجود در برابر مخاطرات طبیعی و انسان‌ساخت (با تأکید بر جنبه‌های فضایی و ساختاری) و ارائهٔ مدل‌ها و راهبردهای فناورانه و مدیریتی برای ارتقای تاب‌آوری. مطالعات داخلی، عمدتاً بر تحلیل

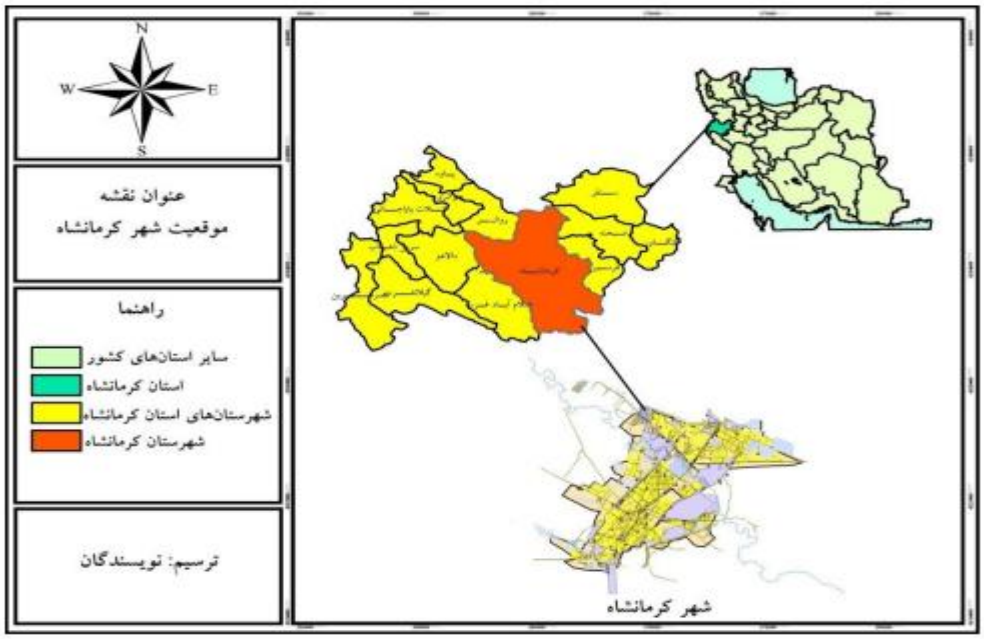
فضایی و کالبدی آسیب‌پذیری شبکه‌های شهری ایران در برابر سوانح تمرکز کرده‌اند. آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱) با مطالعهٔ شهر ایلام، نشان‌دادند که نزدیک به نیمی از معابر با تاب‌آوری بالا، در معرض مخاطرهٔ شدید سیلاب قراردارند و تأکید کردند که توانمندسازی شبکه فراتر از ساختار، نیازمند توجه به مسائل مدیریتی است. احمدی (۱۴۰۲) در مورد منطقهٔ ۲ تهران، تاب‌آوری معابر شهری را رویکردی چندوجهی در چهار بُعد؛ کالبدی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی-مدیریتی معرفی‌کرد. در تأیید این یافته‌ها، دختبدیع و رحیمی (۱۳۹۷) در مورد منطقهٔ ۲ تهران و اناری و همکاران (۱۳۹۸) در حوزهٔ شرقی تهران، عوامل کالبدی-جمعیتی نظیر: تراکم جمعیتی بالا، فرسودگی، درجهٔ محصوریت و محدودیت دسترسی به مراکز امداد را دلایل اصلی آسیب‌پذیری معابر در برابر زلزله اعلام‌کردند. همچنین، محمدی ده‌چشمه و همکاران (۱۳۹۸) در اهواز، درجهٔ محصوریت شبکه را به‌عنوان حساس‌ترین شاخص تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری معرفی‌کردند. حکمت‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) نیز در کرج، تفاوت تاب‌آوری خیابان‌های شریانی را بین سوانح طبیعی و حرکت سواره نشان‌دادند. این تحقیقات، لزوم درنظرگرفتن ملاحظات توپولوژیکی شبکه را تأیید می‌کنند، چنان‌که ژو و همکاران[1] (۲۰۲۳) با تحلیل تطبیقی پنج سیستم مترو، تاب‌آوری را تابعی مستقیم از توپولوژی زیرساختی و رفتار جریان ترافیک دانستند. همچنین گانین و همکاران[2] (۲۰۱۷) نشان‌دادند که شبکه‌های ناکارآمد در شرایط عادی، لزوماً انعطاف‌پذیر نیستند و باید صراحتاً به تاب‌آوری در انتخاب پروژه‌ها توجه شود. بخش دیگر پژوهش‌ها به ارائهٔ راهکارها و مدل‌های مدیریتی و هوشمندسازی برای بهبود تاب‌آوری در برابر اختلالات متمرکز شده‌اند. علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰) یک الگوی مدیریت راهبردی برای منطقهٔ یک تهران ارائه‌دادند که بر پنج عامل کلیدی شامل: بهبود ظرفیت سازمانی، مدیریت سیستمی، کاهش مخاطرات، بهره‌گیری از زیرساخت‌ها و استفاده از فن‌آوری اطلاعات تأکید دارد. در سطح جهانی، مطالعات بر نقش حیاتی هوشمندسازی حمل‌ونقل تأکید کرده‌اند؛ فنگ و همکاران[3] (۲۰۲۳) نشان‌دادند که ITS از طریق مدل‌سازی دقیق رفتار مسافران و استفاده از فناوری‌هایی چون بلاکچین و دوقلوهای دیجیتال برای اشتراک‌گذاری امن داده، تاب‌آوری را ارتقا می‌دهد، تا جایی‌که الگوریتم‌های بهینه‌سازی‌شده توانسته‌اند سربار ارتباطی را بیش از ۵۰ درصد کاهش‌دهند. در مواجهه با سیلاب‌ها، سالوو و همکاران[4] (۲۰۲۵) رویکرد داده‌محور ادغام شبیه‌سازی خرد دینامیک با داده‌های بلادرنگ ترافیک را برای تدوین برنامهٔ جامع تحرک اضطراری و تقویت تاب‌آوری شبکه‌های جاده‌ای شهری پیشنهاد کردند. از سوی دیگر، آبنایاک و همکاران[5] (۲۰۲۲) و بوروسکا و همکاران[6] (۲۰۲۴) در تحلیل تأثیر سیل، نشان‌دادند که تخریب فیزیکی، به تغییرات فضایی متناقض در دسترسی‌پذیری و دگرگونی عملکرد سیستم منجرمی‌شود و تأکید کردند که صرفاً مکان‌یابی سیل‌زدگی برای پیش‌بینی دقیق کاهش سرعت کافی نیست. در حوزهٔ مدل‌های بهینه‌سازی، لیو و همکاران[7] (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی ارائه‌دادند که ارتباط منسجمی بین فعالیت‌های آمادگی و بازیابی با مفهوم انعطاف‌پذیری (تاب‌آوری) در سطح شبکه برقرارمی‌کند. در نهایت، گانین و همکاران[8] (۲۰۱۹) آسیب‌پذیری سیستم‌های هوشمند را در تقاطع‌ها

1 Zhu et al
2 Ganin et al
3 Feng et al
4 Salvo et al
5 Abenayake et al
6 Borowska et al
7 Liao et al
8 Ganin et al

بسیار متمرکز دانسته و هشدار دادند که "قفل‌شدن" علائم ترافیکی مخرب‌تر از غیرفعال‌شدن کامل سیگنال‌ها است و سردار و همکاران[1] (۲۰۲۲) نیز مطالعات آتی را به‌سمت بررسی تهدیدات نوظهور مانند تغییرات آب‌وهوا و امنیت سایبری برای توسعهٔ پایدار هدایت کردند.

محدودهٔ مورد مطالعه

کرمانشاه، نهمین کلان‌شهر ایران و دومین شهر بزرگ و پرجمعیت غرب کشور، در نیمهٔ شرقی استان کرمانشاه و در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار 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. محدودهٔ قانونی شهر با مساحت تقریبی ده هزار هکتار و محدودهٔ تحت مدیریت شهرداری با مساحت ۸۳۸۷ هکتار، شاهد تحولات جمعیتی و کالبدی چشمگیری بوده است به‌طوری که جمعیت آن از ۱۲۵۴۳۹ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۹۴۶۶۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته و در نتیجه، جمعیت شهری در بازهٔ زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ بیش از ۵,۷ برابر شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). موقعیت دقیق این محدوده در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل ۳. محدودهٔ مورد مطالعه

ترسیم: نگارندگان

1 Serdar et al

مواد و روش‌ها

الف. روش‌شناسی

پژوهش کاربردی، با رویکرد توصیفی-تحلیلی، به واکاوی پیشران‌های کلیدی تأثیر هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه اختصاص یافته است. در گام نخست، ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های این دو متغیّر (۲ بُعد، ۱۴ مؤلفه و ۴۶ شاخص) از منابع علمی متعدد استخراج‌شدند و روایی آن‌ها با موفقیت از طریق روش دلفی توسط گروهی از متخصصان تأیید گردید. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر را ۵۰ نفر از کارشناسان و نخبگان متخصص در این حوزه تشکیل‌دادند که براساس قانون راسکو (مناسب‌بودن حجم نمونه بین ۳۰ تا ۵۰۰ نفر)، به‌شیوهٔ نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شدند. سپس، به‌منظور تعیین متغیرهای استراتژیک، یک پرسش‌نامهٔ ماتریس اثرات متقاطع در اختیار نمونهٔ آماری قرارگرفت. در این پرسش‌نامه، متخصصان میزان ارتباط و تأثیر متقابل پیشران‌ها را به‌صورت مقایسهٔ زوجی و براساس طیف صفر تا سه (صفر: بدون تأثیر، یک: ضعیف، دو: متوسط، سه: زیاد) امتیازدهی کردند. تحلیل این داده‌ها به تعیین و تدوین پیشران‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر کلیدی و استراتژیک در زمینهٔ هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی منجرشد و نتایج کامل این شاخص‌ها در قالب یک جدول ارائه شده است.

جدول۱. شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

بعد	شاخص	زیر شاخص	کد
حمل‌ونقل هوشمند	زیرساختی- فنی (I)	استقرار پارکینگ‌های هوشمند	T1
		گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر	T2
		استفاده از اپلیکیشن‌ها و نرم‌افزارهای قدرتمند در حوزه‌های مختلف	T3
	ایمنی و امنیت (S)	استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور و مرور	T4
		سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات	T5
		اطلاع‌رسانی هوشمند و لحظه‌ای تغییرات جوی و وضعیت فیزیکی جاده‌ها	T6
		شناسایی مکان‌های مهم و امنیتی و ارائهٔ خدمات ویژه	T7
	مدیریتی (M)	یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل	T8
		مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی	T9
		مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی	T10
		تربیت نیروهای متخصص و توانمند در حوزهٔ هوش مصنوعی	T11
	اقتصادی(E)	سیستم پرداخت(عوارض کرایه) الکترونیک	T12
		تقویت شرکت‌های خصوصی برای سرمایه‌گذاری در حوزهٔ شهری	T13
		گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر با اتکا به محاسبات دقیق و هوشمند	T14
	کالبدی(P)	ایجاد پارکینگ‌های طبقاتی در مکان‌های مناسب	T15
		چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی	T16
		طراحی هوشمند خیابان‌ها با لحاظ طراحی محله و خیابان انسان‌محور	T17
	ارتباطی و اطلاع‌رسانی(C)	استفاده از سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها پیش و حین سفر	T18
		سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی	T19
		اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی درخصوص منافع سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل هوشمند	T20
	زیست‌محیطی(En)	مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی	T21
		تولید و به‌کارگیری اتومبیل‌های هوشمند بوم‌گرا با سوخت خورشیدی با هیدروژنی	T22

	اجتماعی- فرهنگی(So)	آموزش شهروندان برای استفاد ه از وسایل حمل‌ونقل هوشمند به‌خصوص پارکینگ هوشمند	T23
		تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل‌ونقل هوشمند	T24
		مشارکت شهروندان در فرایندهای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل هوشمند	T25
تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی	تاب‌آوری حرکت سواره(Rr)	ترافیک کم‌سواره	R1
		کاهش تعداد تصادفات	R2
		طراحی مناسب خیابان	R3
	تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران(Rp)	طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی	R4
		درنظرگرفتن خط مشی عابر پیاده	R5
		درنظرگرفتن تردد ایمن معلولین	R6
		ایجاد و توسعۀ پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد	R7
		آرام‌سازی ترافیک	R8
	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی(Rs)	نزدیکی به مراکز حیاتی	R9
		دوری از مکان‌های خطرزا	R10
		عرض مناسب و مستقیم‌بودن خیابان	R11
		جدار مناسب خیابان	R12
		پایین‌بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی	R13
		محصوریت کم	R14
		درنظرگرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی	R15
	تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم(Ra)	افزایش نظارت طبیعی	R16
		افزایش حضور نیروهای پلیس	R17
		تأمین روشنایی خیابان‌ها	R18
	تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب- وهوایی(Rc)	تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	R19
		درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقف	R20
		درختکاری	R21

منبع: (Li et al, 2023, Bellini et al, 2021, Auld et al, 2017, Bellini et al, 2017, Faturechi & Miller-Hooks,2015)

نرم‌افزار میک‌مک[1] ابزاری برای انجام محاسبات پیچیدۀ ماتریس اثرات متقاطع است که جهت تحلیل ساختاری یک سیستم طراحی شده است. روش کار این نرم‌افزار به این‌صورت است که ابتدا متغیرها و مؤلفه‌های کلیدی مرتبط با یک حوزه، شناسایی شده و در یک ماتریس N×N وارد می‌شوند. در این ماتریس، متغیرهای سطرها (به‌عنوان تأثیرگذار) بر متغیرهای ستون‌ها (به‌عنوان تأثیرپذیر) اثرمی‌گذارند و میزان ارتباط آن‌ها توسط خبرگان با مقیاس صفر تا سه (از "بدون تأثیر" تا "تأثیر زیاد") سنجیده می‌شود. تحلیل این ماتریس امکان توصیف همۀ مؤلفه‌های اصلی سیستم و آشکارسازی متغیرهای کلیدی و استراتژیک را فراهم‌می‌کند که برای ارزیابی و برنامه‌ریزی در سیستم مورد نظر حیاتی هستند. (حسینی سیاه‌گلی و همکاران، ۱۴۰۲).

ب. یافته‌های پژوهش(تجزیه‌وتحلیل داده‌ها)

شناخت وضعیت آیندۀ نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، یک ضرورت حیاتی برای رسیدن به آیندۀ مطلوب شهری است. این مهم، استفاده از شیوه‌های نوین و کارآمدی نظیر رویکرد آینده‌نگاری را الزامی می‌سازد. در واقع رویکرد آینده‌نگاری با تحلیل عمیق ظرفیت‌ها، چالش‌ها و مسائل پیش‌رو، به

1 MICMAC

تدوین راهکارها و روش‌های بهتر برای این حوزه کمک می‌کند. در این راستا، پژوهش حاضر با اتکا به همین رویکرد، در گام نخست و با استفاده از پیشینهٔ نظری و تکنیک دلفی متخصصین (مصاحبه با کارشناسان خبره)، توانسته است ۴۶ متغیر تأثیرگذار کلیدی را شناسایی و استخراج‌کند. این متغیرها، که شامل دو بخش هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی هستند، پایهٔ اصلی تحلیل‌های ساختارمند بعدی برای مدیریت پیچیدگی‌های این موضوع چندوجهی را تشکیل‌می‌دهند. پس از شناسایی این ۴۶ متغیر اولیهٔ تأثیرگذار، پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک قدرتمند تحلیل اثرات متقاطع (MICMAC) و با استفاده از دیدگاه‌های اساتید برجستهٔ برنامه‌ریزی شهری، حمل‌ونقل شهری و مدیریت بحران، به ارزیابی ساختاری و شناسایی پیشران‌های کلیدی پرداخته است. اجرای این تکنیک با تشکیل ماتریس اولیهٔ ۴۶×۴۶ و واردکردن اوزان حاصل از نظرات کارشناسان و مدیران شهری در نرم‌افزار مربوطه صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل میک‌مک، حکایت از یک شبکهٔ پیچیده و درهم‌تنیدهٔ تأثیرات متقابل دارد به‌گونه‌ای که شاخص پرشدگی در حدود ۷۳ درصد به‌دست آمده که نشان‌دهندهٔ وابستگی و تأثیرگذاری بالای متغیرها بر یکدیگر است. در مجموع، ۱۵۴۸ حالت از کل روابط بین روندها دارای ارزش اثرات متقاطع بوده‌اند که از این میان، ۵۶۸ رابطه بدون تأثیر (ارزش صفر)، ۴۲۰ رابطه با تأثیر ضعیف (ارزش ۱)، ۶۴۰ رابطه با تأثیر متوسط (ارزش ۲) و در نهایت ۴۸۸ رابطه با تأثیرگذاری قوی (ارزش ۳) شناسایی شده‌اند. این توزیع روابط، قدرت تعاملی و پویایی سیستم مورد بررسی را به‌وضوح نمایش‌می‌دهد. اعتبار و روایی بالای ابزار پژوهش (پرسش‌نامه) نیز با دستیابی به مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصدی ماتریس در دو مرحلهٔ چرخش داده‌ای و براساس شاخص‌های آماری، به تأیید نهایی رسیده است و بدین‌ترتیب، اطمینان لازم برای اتکا به عوامل کلیدی شناسایی‌شده جهت ترسیم آیندهٔ تاب‌آورانه حاصل شده است.

جدول (۲). ویژگی‌های تأثیرات مستقیم۱

شاخص		مقدار	شاخص	مقدار
ابعاد ماتریس		۴۶	تعداد صفرها (بدون تأثیر)	۵۶۸
تعداد تکرار		۲	تعداد یک‌ها (تأثیر ضعیف)	۴۲۰
تعداد تکرار (چرخش)	تأثیرگذاری چرخش اول	٪۹۷	تعداد دوها (تأثیر متوسط)	۶۴۰
	تأثیرپذیری چرخش اول	٪۱۰۱	تعداد سه‌ها (تأثیر زیاد)	۴۸۸
	تأثیرگذاری چرخش دوم	٪۱۰۰	مجموع	۱۵۴۸
	تأثیرپذیری چرخش دوم	٪۱۰۰	میزان پرشدگی خانه‌ها	٪۷۳,۱۵۶۹

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

براساس تجزیه‌وتحلیل‌های حاصل از نرم‌افزار میک مک بر پایهٔ تحلیل اثرات متقاطع، روندهای موجود که براساس نوع تأثیرگذاری در صفحهٔ پراکندگی، به نواحی مختلفی تقسیم‌شده است، توزیع‌شده‌اند. به‌طوری که ۴۶ روند مورد مطالعه را می‌توان براساس صفحهٔ پراکندگی سیستم را در سیستم شناسایی و همهٔ روندهای ذکرشده را طبقه‌بندی کرد. به‌طور کلی صفحهٔ پراکندگی شامل دو سیستم پایدار و ناپایدار می‌باشد که به‌صورت زیر متغیرها دسته‌بندی می‌شوند:

1 MDI

سیستم‌های پایدار: متغیرهای بسیار تأثیرگذار بر سیستم (عوامل کلیدی)، متغیرهای مستقل، متغیرهای خروجی سیستم (متغیرهای نتیجه). سیستم‌های ناپایدار: متغیرهای تعیین‌کننده یا تأثیرگذار، متغیرهای دو وجهی، متغیرهای تأثیرپذیر، متغیرهای مستقل و متغیرهای تنظیم.

- متغیرهای تأثیرگذار: براساس تحلیل میک‌مک (MICMAC) و نتایج ماتریس اثرات متقاطع (MDI و MII)، متغیرهایی که در ناحیهٔ تأثیرگذار کل سیستم قراردارند به‌عنوان عوامل کلیدی (پیشران‌ها) شناخته‌می‌شوند و بیشترین تأثیر را بر نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی دارند. این عوامل عمدتاً از میان شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی و محیطی هستند به‌طوری‌که درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقف (با امتیاز خالص ۱۸۰)، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری (۱۳۹) و محصوریت کم (۱۳۹) از بالاترین شدت تأثیرگذاری برخوردارند. در مقابل، متغیرهای مرتبط با هوشمندسازی، نظیر: سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی (۳)، تقویت شرکت‌های خصوصی (۱۹) و استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک (۲۶)، دارای کمترین تأثیرگذاری خالص بوده و در این سیستم بیشتر نقش عوامل تأثیرپذیر یا وابسته را ایفا می‌کنند.

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

شاخص‌ها	نماد	زیر شاخص‌ها	تأثیرگذار		تأثیرپذیر	خالص	رتبه
تاب‌آوری حرکت سواره	R1	ترافیک کم‌سواره	۲۴۳		۱۳۲	۱۱۱	۴
	R3	طراحی مناسب خیابان	۲۴۳		۱۱۳	۱۳۰	۳
تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران	R4	طراحی مسیر ویژهٔ دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی	۳۲۸		۱۸۹	۱۳۹	۲
	R7	ایجاد و توسعهٔ پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد	۲۷۴		۱۷۶	۹۸	۵
	R8	آرام‌سازی ترافیک	۲۲۴		۱۹۲	۳۲	۱۴
تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی	R11	عرض مناسب و مستقیم‌بودن خیابان	۲۵۲		۱۸۶	۶۶	۸
	R12	جدار مناسب خیابان	۲۳۳		۱۵۴	۷۹	۷
	R13	پایین‌بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی	۲۲۱		۱۷۶	۴۵	۱۰
	R14	محصوریت کم	۲۶۲		۱۲۳	۱۳۹	۲
	R15	درنظرگرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی	۲۱۸		۱۷۶	۴۲	۱۲
تاب‌آوری شهروندان	R17	افزایش حضور نیروهای پلیس	۲۴۶		۲۰۲	۴۴	۱۱
تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب-وهوایی	R19	تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	۲۴۶		۱۸۳	۶۳	۹
	R20	درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقف	۳۰۹		۱۲۹	۱۸۰	۱
	R21	درختکاری	۲۹۰		۲۰۸	۸۲	۶
ایمنی و امنیت	T4	استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور	۲۳۷		۲۱۱	۲۶	۱۶
اقتصادی	T13	تقویت شرکت‌های خصوصی	۲۴۳		۲۲۴	۱۹	۱۷
ارتباطی و اطلاع‌رسانی	T19	سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی	۲۲۴		۲۲۱	۳	۱۸
	T20	اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی درخصوص منافع سرمایه‌گذاری	۲۴۹		۲۲۱	۲۸	۱۵
زیست‌محیطی	T21	مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی	۲۵۶		۲۲۱	۳۵	۱۳

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیّرهای دووجهی: این متغیرها که در قسمت شمال‌شرقی نقشهٔ پراکندگی قرارگرفته‌اند، متغیرهایی هستند که هم‌زمان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بالایی دارند و در افق مطالعاتی نقش چشمگیری ایفا می‌کنند. تحلیل اثرات متقاطع نشان‌می‌دهد که در این گروه، عواملی چون: خط مشی عابر پیاده، آموزش شهروندان برای استفاده از وسایل حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی با خالص اثرگذاری ۱۶، ۱۵ و ۱۲ دارای بیشترین شدت اثرگذاری مستقیم و نقش پیشران هستند. در مقابل، شاخص‌هایی نظیر: استقرار پارکینگ‌های هوشمند و تقویت تعاملات کاربران با خالص اثرگذاری ۱۱۳-و ۱۱۰- ، دارای کمترین اثرگذاری خالص بوده و در این شبکه به‌عنوان متغیرهای تأثیرپذیر (وابسته) اصلی عمل‌می‌کنند. این نتایج نشان‌می‌دهد که تقویت جنبه‌های انسانی و مدیریتی هوشمندسازی (مانند آموزش و مدیریت عمومی) در کنار تمرکز بر حقوق عابر پیاده، بیش از سرمایه‌گذاری صرف بر زیرساخت‌های فنی مانند پارکینگ‌های هوشمند، بر پویایی و تاب‌آوری سیستم مؤثر است.

جدول (۴). اثرات متقاطع متغیرهای دووجهی براساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص	رتبه
زیرساختی- فنی	T1	استقرار پارکینگ‌های هوشمند	۲۴۰	۳۵۳	-۱۱۳	۸
	T2	گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر	۲۵۲	۲۹۷	-۴۵	۵
ایمنی و امنیت	T5	سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات	۲۷۱	۳۲۲	-۵۱	۶
مدیریتی	T10	مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی	۲۵۲	۲۴۰	۱۲	۳
کالبدی	T16	چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی	۲۳۳	۲۳۳	۰	۴
اجتماعی- فرهنگی	T23	آموزش شهروندان برای استفاد ه از وسایل حمل‌ونقل هوشمند	۲۷۱	۲۵۶	۱۵	۲
	T24	تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل‌ونقل هوشمند	۲۱۸	۳۲۸	-۱۱۰	۷
تاب‌آوری عابران پیاده	R5	درنظرگرفتن خط مشی عابر پیاده	۲۸۱	۲۶۵	۱۶	۱

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیرهای تنظیمی: این نوع متغیرها در ناحیهٔ مرکزی نقشهٔ پراکندگی قراردارند و نقش اصلی آن‌ها تنظیم روابط و ایجاد تعادل فضایی بین سایر متغیرها برای تضمین کارآمدی هوشمندسازی حمل‌ونقل بر تاب‌آوری شبکه‌ها است. با این‌حال، تحلیل اثرات متقاطع نشان‌می‌دهد که تمام این شاخص‌ها دارای امتیاز خالص منفی هستند و بیشتر نقش تأثیرپذیر (وابسته) را ایفا می‌کنند تا پیشران. در میان این عوامل، شاخص‌های کالبدی-زیست‌محیطی، مانند دوری از مکان‌های خطرزا (R10) با کمترین امتیاز منفی (۲۲-)، بهترین عملکرد را داشته و نزدیک‌ترین حالت به تعادل را دارند. در مقابل، سیستم پرداخت الکترونیک (T12) با بالاترین امتیاز خالص منفی (۵۷-)، بیشترین وابستگی و تأثیرپذیری را از تغییرات کل سیستم دارا است. این نتایج حاکی از آن است که بهبود تاب‌آوری، از طریق عوامل تنظیمی، نیازمند تمرکز بر شاخص‌های با وابستگی کمتر مانند دوری از خطرات است.

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

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص مستقیم	رتبه
زیرساختی- فنی	T3	استفاده از اپلیکیشن‌ها و نرم‌افزارهای قدرتمند در حوزه‌های مختلف	۲۱۱	۲۵۲	-۴۱	۴
اقتصادی	T12	سیستم پرداخت(عوارض کرایه) الکترونیک	۱۹۹	۲۵۶	-۵۷	۵
کالبدی	T15	ایجاد پارکینگ‌های طبقاتی در مکان‌های مناسب	۲۰۵	۲۳۰	-۲۵	۲
زیست‌محیطی	T22	تولید و به‌کارگیری اتومبیل‌های هوشمند بوم‌گرا با سوخت خورشیدی	۲۱۱	۲۴۳	-۳۲	۳
تاب‌آوری خیابان	R10	دوری از مکان‌های خطرزا	۱۹۲	۲۱۴	-۲۲	۱

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیّرهای تأثیرپذیر: این متغیرها در ناحیهٔ سوم و در قسمت جنوب‌شرقی واقع‌شده‌اند. متغیرهای تأثیرپذیری دارای اثرپذیری زیاد و اثرگذاری کم می‌باشند. به‌عبارتی بیشتر تأثیرپذیر هستند تا تأثیرگذار. براساس تحلیل(جدول۶) متغیرهای تأثیرپذیر، تمامی شاخص‌ها دارای امتیاز خالص منفی بالایی هستند که نشان‌دهندهٔ وابستگی شدید این عوامل به کل سیستم و نقش آن‌ها به‌عنوان نتایج خروجی است. در این میان، شاخص تربیت نیروهای متخصص بیشترین تأثیرپذیری خالص (۶۶-) را نشان‌می‌دهد، در حالی‌که شاخص‌های شناسایی مکان‌های امنیتی و اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها با کمترین امتیاز منفی (۱۹۳- و ۱۷۴-) کمترین میزان تأثیرپذیری را دارا می‌باشند.

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

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص	رتبه
ایمنی و امنیت	T6	اطلاع‌رسانی هوشمند و لحظه‌ای تغییرات جوی	۲۰۸	۳۲۸	-۱۲۰	۳
	T7	شناسایی مکان‌های مهم و امنیتی و ارائهٔ خدمات ویژه	۹۱	۲۸۴	-۱۹۳	۶
مدیریتی	T11	تربیت نیروهای متخصص در حوزهٔ هوش مصنوعی	۱۸۳	۲۴۹	-۶۶	۱
کالبدی	T17	طراحی هوشمند خیابان‌ها با لحاظ طراحی محله و خیابان	۱۸۹	۲۶۵	-۷۶	۲
ارتباطی و اطلاع‌رسانی	T18	استفاده از سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها	۹۱	۲۶۵	-۱۷۴	۵
تاب‌آوری شهروندان	R16	افزایش نظارت طبیعی	۱۳۵	۲۵۹	-۱۲۴	۴

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

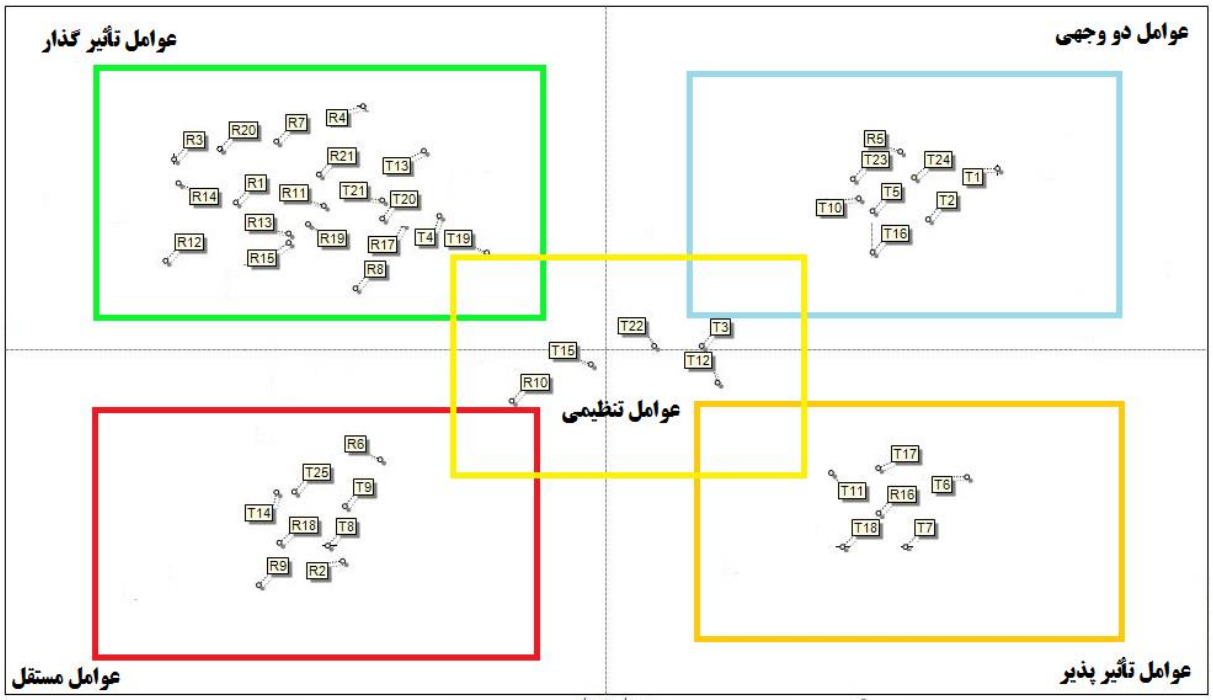
متغیّرهای مستقل : در ناحیهٔ جنوب‌غربی نقشهٔ پراکندگی قراردارند و به‌طور کلی میزان اثرگذاری و اثرپذیری پایینی در شبکهٔ هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری دارند. براساس تحلیل اثرات متقاطع، تنها سه شاخص؛ گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر، مشارکت شهروندان در فرایندهای حمل‌ونقل و مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی به‌ترتیب با امتیازهای خالص ۳۲، ۹ و ۶ دارای امتیاز خالص مثبت بوده و به‌عنوان عوامل مستقل تأثیرگذار عمل‌می‌کنند. در مقابل، سایر شاخص‌ها مانند: یکپارچگی سیستم های حمل‌ونقل و کاهش تعداد تصادفات، با امتیاز خالص ۹۲- و ۵۱- در این گروه بیشترین نقش تأثیرپذیری و وابستگی را از خود نشان‌می‌دهند.

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

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص مستقیم	رتبه
تاب‌آوری حرکت سواره	R2	کاهش تعداد تصادفات	۱۲۹	۱۸۰	-۵۱	۷
تاب‌آوری عابران پیاده	R6	درنظرگرفتن تردد ایمن معلولین	۱۹۵	۲۱۱	-۱۶	۵
تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح	R9	نزدیکی به مراکزحیاتی	۱۲۶	۱۳۹	-۱۳	۴
تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم	R18	تأمین روشنایی خیابان‌ها	۱۳۵	۱۶۷	-۳۲	۶
مدیریتی	T8	یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل	۹۱	۱۸۳	-۹۲	۸
	T9	مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی	۱۸۹	۱۸۳	۶	۳
اقتصادی	T14	گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر	۲۰۵	۱۷۳	۳۲	۱
اجتماعی- فرهنگی	T25	مشارکت شهروندان در فرآیندهای حمل‌ونقل	۱۷۳	۱۶۴	۹	۲

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

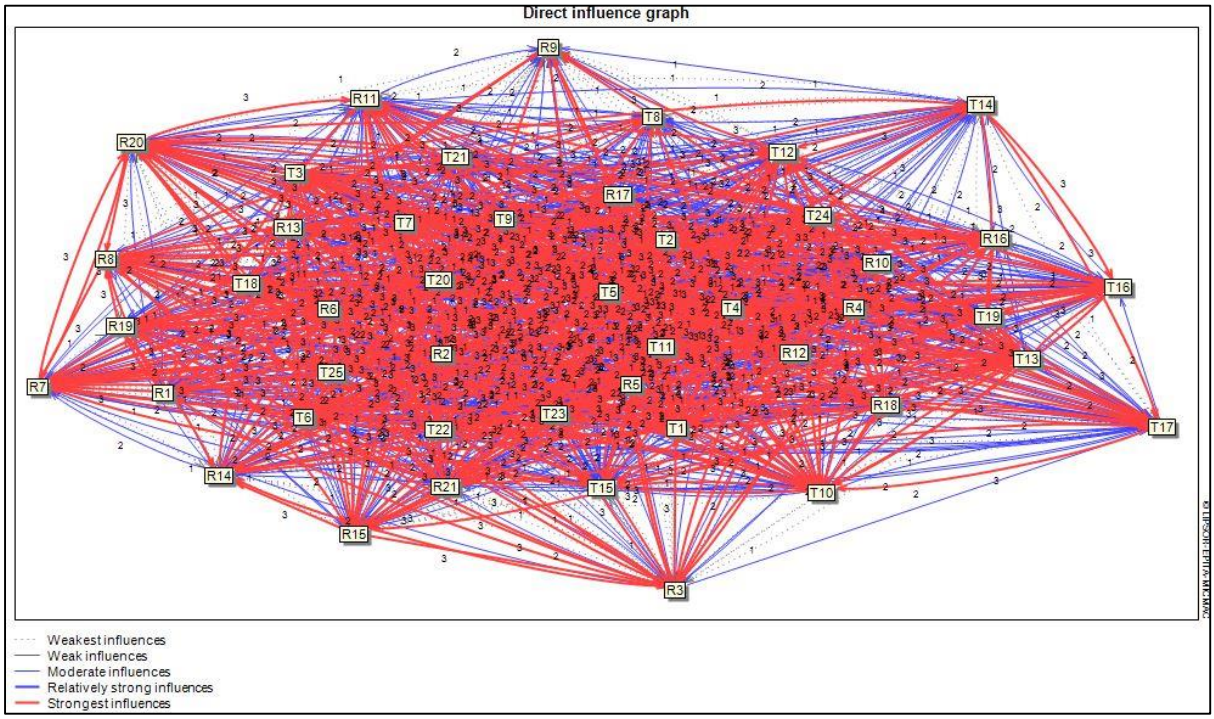
در روش تحلیل تأثیرات متقاطع، اگر پراکنش متغیرها به‌صورت L باشد، نشان‌دهندۀ پایداری سیستم است، این به آن معنی است که برخی از متغیرها از میزان تأثیرگذاری بالا و برخی دیگر نیز از میزان تأثیرپذیری بالا برخوردار هستند. در این سیستم، جایگاه و نقش هر یک از این عوامل کاملاً مشخص و قابل بیان است اما اگر پراکنش متغیرها، حول محور قطری پلان باشد نشان‌دهندۀ ناپایداری سیستم است. این سیستم‌ها به مراتب پیچیده‌تر از سیستم‌های پایدار هستند و متغیرهای در اکثر مواقع حالت بینابینی از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را نشان‌می‌دهند که ارزیابی و شناسایی عوامل کلیدی را با مشکل مواجه می‌سازد. در واقع می‌توان‌گفت نحوۀ پراکنش متغیرها در صفحۀ پراکندگی، پایداری و ناپایداری سیستم را بیان‌می‌کنند.



شکل (۴). نمودار پراکنش متغیرها در محور تأثیرگذاری- تأثیرپذیری براساس تأثیرات مستقیم

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

نتایج کلی حاصل از متغیرهای تنظیمی، تأثیرگذاری، دووجهی و غیره در شکل (۴) نشان‌داده شده است. روابط فضایی شکل‌گرفته در نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، گویای آن است که متغیرهای مستقیم در پوشش ۱۰۰ درصد شامل: شاخص‌های مانند ترافیک کم‌سواره، طراحی مناسب خیابان، طراحی مسیر ویژهٔ دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی، ایجاد و توسعهٔ پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد، آرام‌سازی ترافیک، عرض مناسب و مستقیم‌بودن خیابان، جدار مناسب خیابان، پایین‌بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی، محصوریت کم، درنظرگرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی، افزایش حضور نیروهای پلیس، تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها، درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقّف، درختکاری، استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور، تقویت شرکت‌های خصوصی، سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی، اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی درخصوص منافع سرمایه‌گذاری، مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی جزء مهم‌ترین متغیّرهای تأثیرگذاری تشکیل‌دهندهٔ هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه هستند. همچنین با توجه به این نتایج می‌توان‌گفت که با توجه به پوشش ۱۰۰ درصدی، شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بیشترین تأثیر را بر تحقق تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی می‌گذارد.

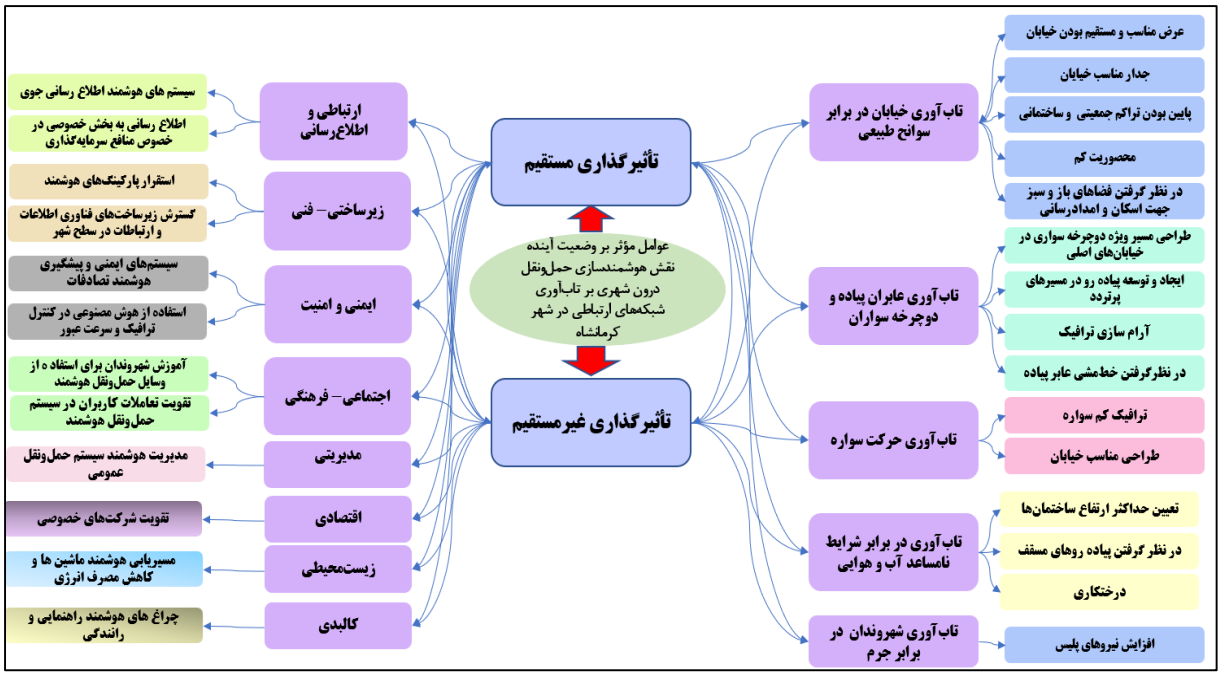


شکل۵. تأثیرگذاری مستقیم متغیرها با پوشش ۱۰۰ درصد و روابط بین آن‌ها

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

نمودار اثرگذاری مستقیم که شامل ۴۶ متغیر از هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی است، یک شبکهٔ بسیار متراکم و درهم‌تنیده را نشان‌می‌دهد که مؤید تأثیرگذاری متقابل بسیار بالای عوامل بر یکدیگر است (شاخص پرشدگی بالا). این نمودار بصری، پیچیدگی و پویایی سیستم مورد مطالعه را تأیید می‌کند به‌طوری‌که تقریباً تمام متغیرها توسط خطوط قرمز (قوی‌ترین تأثیرات) و آبی (تأثیرات نسبتاً قوی) به‌هم متصل‌شده‌اند. نقاط

تمرکز قوی‌ترین تأثیرات (خطوط ضخیم قرمز با برچسب ۳) غالباً در اطراف عوامل تاب‌آوری مانند: درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقّف (R20)، طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری (R4)، ایجاد و توسعۀ پیاده‌رو (R7) و طراحی مناسب خیابان (R3) مشاهده می‌شود. این تراکم بالای ارتباطات و غالب‌بودن خطوط قرمز و آبی، نشان‌دهندۀ آن است که هیچ عاملی در سیستم ایزوله نیست و هرگونه مداخله‌ای در یک متغیر (چه هوشمندسازی و چه تاب‌آوری) به‌سرعت می‌تواند بر کل شبکۀ شهری تأثیر بگذارد و تأثیرگذاری‌های ساختاری قوی اغلب به‌سمت عناصر کالبدی و محیطی تاب‌آوری هدایت می‌شوند.



شکل (۶). عوامل مؤثر بر وضعیت آیندۀ نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

با توجه به نتایج، هم‌پوشانی متغیرهای مستقیم و غیرمستقیم در پژوهش نشان‌داد که ۲۷ عامل کلیدی مؤثر بر وضعیت آیندۀ نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شناخته شده است. همان‌گونه که در شکل (۶)، نمایش‌داده شده‌است، این ۲۷ عامل شامل: ترافیک کم‌سواره، طراحی مناسب خیابان، طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی، ایجاد و توسعۀ پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد، آرام‌سازی ترافیک، عرض مناسب و مستقیم‌بودن خیابان، جدار مناسب خیابان، پایین‌بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی، محصوریت کم، درنظرگرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی، افزایش حضور نیروهای پلیس، تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها، درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقّف، درختکاری، استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور، تقویت شرکت‌های خصوصی، سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی، اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی درخصوص منافع سرمایه‌گذاری، مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی، استقرار پارکینگ‌های هوشمند، گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر، سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات، مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی، چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی،

آموزش شهروندان، تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل‌ونقل هوشمند و درنظرگرفتن خط مشی عابر پیاده می‌باشد. در ادامه به رتبه‌بندی میزان اثرگذاری مستقیم متغیرها بر یکدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذاری پرداخته شده‌است.

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

	تأثیر مستقیم عوامل نسبت به یکدیگر				تأثیرات غیرمستقیم عوامل بر یکدیگر			
رتبه	شاخص	میزان تأثیرگذاری	شاخص	میزان تأثیرپذیری	شاخص	میزان تأثیرگذاری	شاخص	میزان تأثیرپذیری
1	R4	328	T1	353	R4	327	T1	348
2	R20	309	T6	328	R20	303	T24	328
3	R21	290	T24	328	R21	289	T5	322
4	R5	281	T5	322	R5	283	T6	319
5	R7	274	T2	297	T5	275	T2	302
6	T5	271	T7	284	T23	270	T7	291
7	T23	271	T17	265	R7	265	R5	272
8	R14	262	T18	265	R14	262	T18	269
9	T21	256	R5	265	T21	259	R16	268
10	T2	252	R16	259	T10	256	T3	264
11	T10	252	T12	256	R19	253	T17	263
12	R11	252	T23	256	R17	253	T11	262
13	T20	249	T3	252	T20	253	T12	259
14	R17	246	T11	249	R11	253	T10	251
15	R19	246	T22	243	R3	250	T22	246
16	T13	243	T10	240	T2	247	T23	246
17	R1	243	T16	233	R1	247	T16	238
18	R3	243	T15	230	T1	236	T4	234
19	T1	240	T13	224	T13	234	T15	228
20	T4	237	T19	221	R12	234	T13	227
21	T16	233	T20	221	R8	232	T20	222
22	R12	233	T21	221	T16	230	T19	221
23	T19	224	R10	214	T19	228	R10	213
24	R8	224	T4	211	T4	225	R21	212
25	R13	221	R6	211	T24	220	R6	211
26	T24	218	R21	208	R15	218	T21	210
27	R15	218	R17	202	T3	216	R17	205

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

جدول رتبه‌بندی اثرگذاری متقابل (جدول ۸)، که متغیرها را براساس میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم تفکیک کرده است، به‌وضوح نشان‌می‌دهد که عوامل تاب‌آوری (R)، به‌ویژه زیرشاخه‌های مرتبط با عابران

پیاده و محیط، نقش پیشران‌های اصلی (عوامل تأثیرگذار) سیستم هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌ها را ایفا می‌کنند. در بخش تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم، طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری (R4)، درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقّف (R20) و درختکاری (R21) همواره در سه رتبۀ برتر قراردارند و به‌ترتیب با بالاترین امتیازها، بیشترین نیروی پیش‌برنده را در شبکه اعمال‌می‌کنند. این امر تأکید دارد که اقدامات کالبدی و محیطی تاب‌آوری، از نظر ساختاری، مهم‌ترین منبع ایجاد تغییر در سیستم هستند. در مقابل، در بخش تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم، شاخص‌های مرتبط با حمل‌ونقل هوشمند (T)، به‌ویژه در ابعاد زیرساختی-فنی و اجتماعی، صدرنشین هستند. استقرار پارکینگ‌های هوشمند (T1) با بالاترین امتیاز تأثیرپذیری در هر دو حالت و شاخص‌هایی مانند: اطلاع‌رسانی جوی (T6) و تقویت تعاملات کاربران (T24)، بیشترین میزان تأثیرپذیری را از کل سیستم نشان‌می‌دهند. این الگوی غالب (Rها تأثیرگذار و Tها تأثیرپذیر)، نه‌تنها در روابط مستقیم بلکه در روابط بلندمدت و غیرمستقیم نیز تکرار می‌شود و تأیید می‌کند که هوشمندسازی (T) در این سیستم، عمدتاً نقش متغیرهای وابسته یا نتیجه را ایفا می‌کند که موفقیت آن‌ها متأثر از تقویت ریشه‌ای زیرساخت‌های تاب‌آوری (R) است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف حیاتی شناسایی پیشران‌های تأثیرگذار بر آیندۀ نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی انجام شده است. در گام نخست، با مرور جامع ادبیات و استفاده از تکنیک دلفی، ۴۶ مؤلفۀ کلیدی در ۲ بُعد و ۱۴ شاخص شناسایی شد. سپس، با به‌کارگیری تکنیک قدرتمند تحلیل اثرات متقاطع (MICMAC) و تشکیل ماتریس ۴۶×۴۶، ساختار پیچیدۀ روابط میان متغیرها مورد ارزیابی قرارگرفت به‌طوری که شاخص پرشدگی ۷۳ درصدی، وابستگی متقابل شدید متغیرها و پیچیدگی سیستم را تأیید می‌کند. از مجموع ۱۵۴۸ رابطۀ شناسایی‌شده، ۴۸۸ رابطه دارای تأثیرگذاری قوی (ارزش ۳) بودند. براساس تحلیل‌های میک‌مک، متغیرهای مورد مطالعه به ۵ دستۀ اصلی (تأثیرگذار، دووجهی، مستقل، تنظیمی، و تأثیرپذیر) تقسیم شدند. در نهایت، ۲۷ عامل از میان ۴۶ عامل اولیه به‌عنوان پیشران‌های اصلی و حیاتی برای شهر کرمانشاه شناسایی شدند که دارای بالاترین وزن و اهمیت در توسعۀ مطلوب و کارآمد آیندۀ تاب‌آورانه هستند. ۲۷ پیشران کلیدی شناسایی‌شده که ترکیبی از شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی-محیطی، مدیریت هوشمند و زیرساخت‌های فناوری می‌باشند، مسیرهای اصلی توسعه را مشخص‌می‌کنند. این پیشران‌ها، از جمله درنظرگرفتن پیاده‌روهای مسقّف، طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری، مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی و آموزش شهروندان، در هر دو حالت تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم، بالاترین توان ایجاد تغییر را در شبکه دارا می‌باشند. اهمیت بسیار بالای این عوامل نشان‌می‌دهد که موفقیت در نقش هوشمندسازی بر تاب‌آوری، بیش از هر چیز، به اولویت‌دهی و سرمایه‌گذاری متوازن بر این ۲۷ عامل کلیدی بستگی دارد؛ بنابراین، مدیران و مسئولین امر باید توجه خود را به این پیشران‌های حیاتی معطوف دارند تا بتوانند شرایط توسعۀ مطلوب و کارآمد برای تضمین آیندۀ تاب‌آور شبکه‌های ارتباطی را در شهر کرمانشاه فراهم‌سازند. یافته‌های این پژوهش با بخش اعظم مطالعات داخلی و جهانی در زمینۀ تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل همسو است. نتایج تحلیل اثرات متقاطع و رتبه‌بندی‌های حاصل از آن که عوامل تاب‌آوری کالبدی و محیطی مانند طراحی مسیر ویژۀ دوچرخه‌سواری، پیاده‌روهای مسقّف و درختکاری را به‌عنوان پیشران‌های اصلی و تأثیرگذارترین عوامل شبکه معرفی‌می‌کند، کاملاً با یافته‌های داخلی هم‌خوانی دارد. این نتایج تأییدی است بر تأکید

پژوهشگران داخلی (مانند محمدی ده‌چشمه و همکاران، حکمت‌نیا و همکاران و اناری و همکاران) مبنی بر اهمیت بالای عوامل کالبدی-جمعیتی، توپولوژیکی و درجهٔ محصوریت شبکه در تعیین تاب‌آوری در برابر سوانح. به‌علاوه، شناسایی ۲۷ عامل کلیدی که ترکیبی از ابعاد کالبدی، مدیریتی و هوشمندسازی هستند، نیز با رویکرد چندوجهی تاب‌آوری (مانند احمدی و علی‌محمدی و همکاران) در همسویی کامل قراردارد. این همسویی، بر لزوم درنظرگرفتن ملاحظات توپولوژیکی شبکه که توسط ژو و همکاران تأکید شده‌بود، صحّه می‌گذارد و نشان‌می‌دهد که اقدامات ساختاری، مبنای هرگونه پیشرفت فناورانه است.

عمده‌ترین تفاوت پژوهش حاضر با برخی از متون پیشینه، در تبیین نقش ساختاری شاخص‌های هوشمندسازی است. در حالی‌که مطالعات جهانی (مانند: فنگ و همکاران و سالوو و همکاران) بر نقش حیاتی و پیشرو ITS در ارتقای مستقیم تاب‌آوری از طریق مدل‌سازی دقیق و مدیریت بلادرنگ تأکید دارند، یافته‌های این تحقیق نشان-می‌دهد که اکثر شاخص‌های هوشمندسازی، به‌ویژه استقرار پارکینگ‌های هوشمند، عموماً تأثیرپذیر و وابسته هستند. این الگو حکایت از آن دارد که در سیستم مورد مطالعه، کارایی و موفقیت فناوری‌های هوشمند، بیشتر یک نتیجه از تقویت زیرساخت‌های کالبدی تاب‌آوری است تا یک عامل پیشران و مستقل. به‌عبارت دیگر، این پژوهش به‌طور ضمنی هشدار گانین و همکاران (در مورد لزوم توجه صریح به تاب‌آوری در انتخاب پروژه‌ها) را تأیید می‌کند و نشان‌می‌دهد که در کرمانشاه، سرمایه‌گذاری صرف بر هوشمندسازی بدون رفع ضعف‌های کالبدی، اثربخشی لازم را نخواهدداشت و فناوری، عملاً نقش عامل نتیجه‌بخش را ایفا می‌کند و نه عامل محرک اصلی سیستم را. تحلیل شرایط کنونی شهر کرمانشاه در زمینهٔ پیاده‌سازی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، فاصلهٔ قابل‌توجهی با اهداف تعیین‌شده در طرح پایهٔ آمایش و سند تدبیر توسعهٔ استان دارد؛ به‌عبارت دیگر، سیستم در وضعیت نامطلوبی قرارگرفته و برای رسیدن به آرمان‌های توسعه، مسیری طولانی و پرچالش در پیش است. نتایج اصلی پژوهش تأکید می‌کند که ۲۷ عامل کلیدی شناسایی‌شده، بازیگران اصلی تعیین‌کنندهٔ آیندهٔ هوشمندسازی و تاب‌آوری هستند اما وضعیت فعلی همین عوامل نیز مطلوب نیست. این تحلیل نشان‌می‌دهد که هرچند مسیر آینده احتمالاً با روندی رو به بهبود، ادامه‌دهندهٔ شرایط فعلی خواهدبود اما با توجه به شرایط نامساعد کنونی، وقوع سناریوهای نامطلوب و حتی بحرانی برای آیندهٔ سیستم، هرگز دور از انتظار نیست و باید برای آن برنامه‌ریزی کرد.

منابع

آزادخانی، پاکزاد؛ سلاورزی‌زاده، محمد؛ شاهمرادیان، افسانه. (۱۴۰۱). سنجش میزان تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل شهر ایلام. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). ۲۲(۶۴)، ۱۲۱-۱۳۸.

doi:10.52547/jgs.22.64.121.

احمدی‌پور، علی؛ پژهان، علی؛ شریفی، منصور. (۱۴۰۱). آینده‌پژوهی جمعیت سالمند استان کهگیلویه و بویراحمد تا افق ۱۴۳۰ و هزینه‌های سلامت آن‌ها. ارمغان دانش ؛ ۲۷ (۲) :۲۲۲-۲۰۷.

http://armaghanj.yums.ac.ir/article-1-3129-fa.html

اناری، فرزاد؛ اقبالی، ناصر؛ مؤیدفر، رضا. (۱۳۹۸). تحلیل وارزیابی متغیرهای مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری شبکه معابر شهری در برابر بحران‌های طبیعی وانسان‌ساخت (نمونهٔ موردی: مناطق ۵گانهٔ حوزهٔ شرقی شهر تهران). فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۹(۳۵)، ۳۵۱-۳۶۴.

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.3.2.0

انوری، زهرا؛ کاموسی، زینب؛ رفیعی‌مهر، بهنام. (۱۳۹۰). بررسی جایگاه فناوری ارتباطات خودرویی در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند. فصلنامهٔ توسعهٔ تکنولوژی صنعتی، ۹(۱۸)، ۷۵-۸۴.

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26765403.1390.9.18.7.8

بخشی سنجدری، رضا؛ دریاباری، سیدجمال‌الدین. (۱۳۹۹). بررسی هوشمندسازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در راستای توسعهٔ پایدار شهرها (مورد مطالعه: کلان‌شهر تهران)، اقتصاد و مدیریت شهری، ۸(۴)، ۳۱-۴۵.

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23452870.1399.8.32.3.0

پاکدامن، نرجس‌خاتون؛ صفاری، بابک؛ کیانفر، کامران. (۱۴۰۰). تعیین ترکیب بهینهٔ گونه‌های (مدهای) حمل‌ونقل شهری. فصلنامهٔ تحقیقات اقتصادی، ۵۶(۴)، ۷۰۲-۷۲۷.

Doi: 10.22059/jte.2022.321390.1008451

پورجوان، خسرو. (۱۳۹۸). تبیین شهر هوشمند و راهکارهای حمل ونقل هوشمند شهری. کارافن، ۱۶(۴۵)، ۱۵-۳۴. SID.

https://sid.ir/paper/378053/fa

پویا، رضا؛ بسته‌نگار، مهرنوش؛ مکرمی، آرزو. (۱۴۰۱). تکنولوژی حمل‌ونقل هوشمند؛ راهبرد مواجهه با چالش‌های اساسی این بخش. فصلنامهٔ توسعهٔ تکنولوژی صنعتی، ۲۰(۴۸)، ۷۷-۹۴.

Doi: 10.22034/jtd.2022.552684.1757

حسینی سیاه‌گلی، مهناز؛ امانپور، سعید؛ ملکی، سعید. (۱۴۰۲). آینده‌پژوهی نقش ساختارهای جمعیتی بر تغییرات کاربری اراضی شهری در کلان‌شهر اهواز. جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، ۱۳(۴۹)، ۳۳-۶۴.

doi: 10.22111/gaij.2023.46211.3132

حکمت‌نیا، حسن؛ نصیری هنده‌خاله، اسماعیل؛ اسمعیلی، فضل‌اله؛ نظافت تکله، بهروز؛ فتاحی، داوود؛ مقدم، داوود. (۱۴۰۰). بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهر کرج (مطالعهٔ موردی: خیابان‌های شهید بهشتی و آزادی). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۱۵۱-۱۷۳.

Doi: 10.22067/geoeh.2021.69981.1046

دخت بدیع، پروین؛ رحیمی، محمود. (۱۳۹۷). بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونهٔ موردی منطقهٔ ۲ تهران، فصلنامهٔ علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی،۳، ۱۰، ۲ (۳۸)، ۴۱-۶۵.

http://journals.iau.ir/article_539258.html

ذوقدار، پریسا؛ شبانی، امیرحسین. (۱۳۹۷). ارزیابی الگوی رفتاری شهروندان در ایستگاه‌های هوشمند حمل‌ونقل شهری (نمونهٔ موردی: ایستگاه هوشمند شهید خرازی شاهین‌شهر). معماری‌شناسی، ۱(۵)، ۱-۹.

https://sid.ir/paper/523450/fa

رضایی، محمدرضا؛ کاویان‌پور، گلشن. (۱۳۹۵). ارزیابی میزان تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی-محیطی محلات شهری در مواجهه با سوانح طبیعی (زلزله)؛ مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر مشهد، سومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری،تهران،

https://civilica.com/doc/561760

طیبی، مسعود؛ فتحیان، محمد؛ موسوی اشکوری، شهاب‌الدین. (۱۳۹۵)، برنامه‌ریزی راهبردی توسعهٔ سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای کشور، نشریهٔ پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۴،۴،۲۹۱-۳.

https://www.trijournal.ir/article_11392_f6ea1056a9981b312fe5a75ca3201026.pdf

علی‌محمدی، اکرم؛ متولی، صدرالدین؛ رجبی، آزیتا. (۱۴۰۱). بررسی بُعد مدیریتی تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری با رویکرد توسعهٔ پایدار زیست‌محیطی در منطقه یک شهر تهران محورهای موضوعی، آینده‌پژوهی شهری، ۲، ۳، ۱-۲۳.

https://doi.org/10.30495/uf.2023.1972734.1056

محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ علیزاده، هادی؛ عباسی گوجانی، داود. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کنندهٔ تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز). پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۷(۲)، ۳۷۵-۳۹۱.

Doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042

مهدی‌زاده، محمد؛ آیتی، اسماعیل؛ هاشمیان بجنورد، ناهید؛ نادری خور شیدی، علیرضا. (۱۳۸۹). ارائهٔ مدلی برای مدیریت یکپارچهٔ حمل‌ونقل و ترافیک شهری در کلان‌شهرهای ایران (مدیریت حمل‌ونقل)، پژوهش‌های مدیریت انتظامی، ۵(۳)، ۴۱۸-۴۴۳.

https://civilica.com/doc/1315765

نادران، علی؛ چوپانی، عبدالاحد. (۱۳۹۰). مدیریت حمل‌ونقل شهری، چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

نصرتی، علی‌رضا؛ مهرجو، مهرداد؛ زالی، نادر. (۱۳۹۹). طراحی سناریوهای توسعهٔ حمل‌ونقل هوشمند شهری با رویکرد تحلیل محیط اطلاعاتی؛ مطالعهٔ موردی: شهر همدان، مدیریت شهری، ۵۹، ۱۲۹-۱۴۵.

http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2875-fa.html

نصرتی، محمود؛ رضایی، احمد؛ رضی، داوود؛ ابراهیمی، قربانعلی. (۱۳۹۹). بررسی جامعه‌شناختی رابطهٔ هویت قومی با رفتار مصرف‌کننده (مطالعهٔ موردی: لرهای استان لرستان). مطالعات اجتماعی اقوام، ۱(۲)، ۲۳۳-۲۵۸.

doi: 10.22111/JSSE.2021.33149.1024

References

Abenayake, C., Jayasinghe, A., Kalpana, H. N., Wijegunarathna, E. E., & Mahanama, P. K. S. (2022). An innovative approach to assess the impact of urban flooding: Modeling transportation system failure due to urban flooding. Applied geography, 147, 102772.

https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102772

Almatar, K. M. (2024). Smart transportation planning and its challenges in the Kingdom of Saudi Arabia. Sustainable Futures, 8, 100238.

https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100238

Auld, J., Sokolov, V., & Stephens, T. S. (2017). Analysis of the effects of connected–automated vehicle technologies on travel demand. Transportation Research Record, 2625(1), 1-8.

https://doi.org/10.3141/2625-01

Barikdar, C. R., Siddiqa, K. B., Miah, M. A., Sultana, S., Haldar, U., Rahman, H., ... & Hassan, J. (2025). MIS frameworks for monitoring and enhancing US energy infrastructure resilience. Journal of Posthumanism, 5(5), 4327-4342.

https://doi.org/10.63332/joph.v5i5.1907

Bellini, E., Bellini, P., Cenni, D., Nesi, P., Pantaleo, G., Paoli, I., & Paolucci, M. (2021). An IoE and big multimedia data approach for urban transport system resilience management in smart cities. Sensors, 21(2), 435.

https://doi.org/10.3390/s21020435

Bellini, E.; Nesi, P.; Coconea, L.; Gaitanidou, E.; Ferreira, P.; Simoes, A.; Candelieri, A. (2017). Towards resilience operationalization in urban transport system: The RESOLUTE project approach. In Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice, Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2016, Glasgow, Scotland, 25–29.

https://boa.unimib.it/handle/10281/204373

Borowska-Stefańska, M., Bartnik, A., Dulebenets, M. A., Kowalski, M., Sahebgharani, A., Tomalski, P., & Wiśniewski, S. (2024). Changes in intra-city transport accessibility accompanying the occurrence of an urban flood. Transportation research part D: transport and environment, 126, 104040.

https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104040

Bouzguenda, I., Alalouch, C., & Fava, N. (2019). Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability. Sustainable cities and society, 50, 101627. (In Persian).

https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101627

De Bona, A. A., de Oliveira Rosa, M., Fonseca, K. V. O., & Lüders, R. (2021). A reduced model for complex network analysis of public transportation systems. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 567, 125715.

https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125715

Faturechi, R., & Miller-Hooks, E. (2015). Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. Journal of infrastructure systems, 21(1), 04014025.

https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212

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.

https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103686

Ganin, A. A., Kitsak, M., Marchese, D., Keisler, J. M., Seager, T., & Linkov, I. (2017). Resilience and efficiency in transportation networks. Science advances, 3(12), e1701079.

https://doi.org/10.1126/sciadv.1701079

Ganin, A. A., Mersky, A. C., Jin, A. S., Kitsak, M., Keisler, J. M., & Linkov, I. (2019). Resilience in intelligent transportation systems (ITS). Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 100, 318-329.

https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.014

Garau, C., Masala, F., & Pinna, F. (2016). Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison. Cities, 56, 35-46. (In Persian)

https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.02.012 .

Hekmatnia, H., Nasiri Hendeh Khaleh, E., Esmaeili, F., Nezafat Takleh, B., Fattahi, D. and Mogadam, D. (2022). Investigating and Evaluating the Resilience of Karaj Communication Network (Case Study: Shahid Beheshti and Azadi Streets). Journal of Geography and Environmental Hazards, 10(4), 151-173. (In Persian).

Doi: 10.22067/geoeh.2021.69981.1046 .

Hosseini, S., Barker, K., Ramirez-Marquez., JE. (2016) A review of definitions and measures of system resilience. Reliab Eng Syst Saf 145:47–61.

https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.08.006

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.

https://doi.org/10.1108/IJEBR-06-2022-0574

Janušová, L., & Čičmancová, S. (2016). Improving safety of transportation by using intelligent transport systems. Procedia Engineering, 134, 14-22.

https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.031

Li, H., Chen, Y., Li, K., Wang, C., & Chen, B. (2023). Transportation internet: A sustainable solution for intelligent transportation systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24(12), 15818-15829.

https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3270749

Li, X., Zhang, T., Wang, J., Han, Z., Liu, J., Kang, J., ... & Jamalipour, A. (2025). Achieving Network Resilience through Graph Neural Network-enabled Deep Reinforcement Learning. IEEE Network.

https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.11074

Liao, T. Y., Hu, T. Y., & Ko, Y. N. (2018). A resilience optimization model for transportation networks under disasters. Natural hazards, 93(1), 469-489. (In Persian)

https://doi.org/10.1007/s11069-018-3310-3

Lin, J., & Ban, Y. (2013). Complex network topology of transportation systems. Transport reviews, 33(6), 658-685.

https://doi.org/10.1080/01441647.2013.848955

Lin, X., Lu, Q., Zhao, P., Chen, L., Tang, J., Guan, D., & Broyd, T. (2025). Field-theory Inspired Physics-Informed Graph Neural Network for Reliable Traffic Flow Prediction under Urban Flooding. Reliability Engineering & System Safety, 111487.

https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111487

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.

https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002

Matyas, D., & Pelling, M. (2015). Positioning resilience for 2015: the role of resistance, incremental adjustment and transformation in disaster risk management policy. Disasters, 39(s1), s1-s18. (In Persian).

https://doi.org/10.1111/disa.12107

Nigam, N., Singh, D. P., & Choudhary, J. (2023). A review of different components of the intelligent traffic management system (ITMS). Symmetry, 15(3), 583-594.

https://doi.org/10.3390/sym15030583

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.

https://doi.org/10.3390/s23083880

Oseni, A., Moustafa, N., Creech, G., Sohrabi, N., Strelzoff, A., Tari, Z., & Linkov, I. (2022). An explainable deep learning framework for resilient intrusion detection in IoT-enabled transportation networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24(1), 1000-1014.

https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3188671

Roy, T., Tariq, A., & Dey, S. (2021). A socio-technical approach for resilient connected transportation systems in smart cities. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(6), 5019-5028.

https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3045854

Salvo, G., Karakikes, I., Papaioannou, G., Polydoropoulou, A., Sanfilippo, L., & Brignone, A. (2025). Enhancing urban resilience: Managing flood-induced disruptions in road networks. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 31, 101383.

https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101383

Stefaniec, A., Hosseini, K., Xie, J., & Li, Y. (2020). Sustainability assessment of inland transportation in China: A triple bottom line-based network DEA approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 80, 102258.

https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102258

Tamvakis, P., & Xenidis, Y. (2012). Resilience in transportation systems. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 48, 3441-3450.

https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308

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.

https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308

Windle, G. (2021). Resilience in later life: Responding to criticisms and applying new knowledge to the experience of dementia. In Resilience and aging: Emerging science and future possibilities (pp. 31-52). Cham: Springer International Publishing. (In Persian)

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57089-7_3

Wu, S., Hu, X., & Zheng, L. (2025). Intracity Accessibility and Intercity Mobility: Evidence from China's High-Speed Rail System. Available at SSRN 5383751.

https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5383751

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.

https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3116667

Zanin, M., Sun, X., & Wandelt, S. (2018). Studying the topology of transportation systems through complex networks: handle with care. Journal of Advanced Transportation, 2018(1), 3156137.

https://doi.org/10.1155/2018/3156137

Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2022). Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives. Sustainability, 14(5), 2481.

https://doi.org/10.3390/su14052481

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.

https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104132

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.

https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3023963

Zhu, J., Xie, N., Cai, Z., Tang, W., & Chen, X. (2023). A comprehensive review of shared mobility for sustainable transportation systems. International Journal of Sustainable Transportation, 17(5), 527-551.

https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2054390