تحلیل روندهای نوظهور در حمل‌ونقل پایدار: طراحی چارچوبی برای تحول مدل‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری

مصطفی بهزادفر [۱]، شهریار رضایی [۲]، مریم ترکمن [۳]، فاطمه رزاقی [۴]

۱- استاد گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسئول: behzadfar@iust.ac.ir).

۲- کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳- دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۴- کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی شهری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:1404-12-04

تاریخ بازنگری:1405-02-19

تاریخ پذیرش:1405-02-29

چکیده

حمل‌ونقل پایدار به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار، نقش مهمی در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی و ارتقای کیفیت زندگی دارد. مطالعه حاضر با هدف شناسایی روندهای علمی، کشف شکاف‌های پژوهشی و آشکارسازی مسیرهای نوظهور در مطالعات حمل‌ونقل پایدار انجام شده است. این پژوهش با رویکرد علم‌سنجی انجام شده است. داده‌های پژوهش از پایگاه Scopus و از طریق جست‌وجوی نظام‌مند در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ استخراج شد. در مرحله نخست ۱,۵۲۲ رکورد بازیابی گردید که پس از حذف ۸۷ مدرک تکراری، ۱,۴۳۵ رکورد برای غربالگری اولیه باقی ماند. در ادامه، بر اساس بررسی عنوان و چکیده، ۱,۰۱۸ سند نامرتبط حذف شد و در نهایت با بررسی متن کامل ۴۱۸ مدرک، ۲۶۹ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب گردید. تحلیل‌های انجام‌شده شامل هم‌واژه‌ای، هم‌تألیفی و هم‌استنادی بوده و نقشه‌های مفهومی و خوشه‌های علمی با استفاده از نرم‌افزارهای VOSviewer و SciMAT ترسیم شد. یافته‌ها نشان می‌دهد ادبیات حمل‌ونقل پایدار در چند خوشه مفهومی اصلی متمرکز است که مهم‌ترین آن‌ها شامل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری پایدار، کاهش انتشار آلاینده‌های حمل‌ونقلی و توسعه فناوری‌های پاک به‌ویژه وسایل نقلیه برقی است. از نظر تولید علمی، ایالات متحده و چین بیشترین سهم انتشار را داشته‌اند و در سطح نهادی نیز دانشگاه ایالتی آریزونا، دانشگاه ایالتی کلرادو و دانشگاه صنعتی شریف از مراکز پیشرو شناسایی شدند. همچنین روندهای نوظهوری مانند وسایل نقلیه برقی و سامانه‌های تحرک اشتراکی مورد توجه فزاینده قرار گرفته‌اند، در حالی که موضوعاتی نظیر پایداری حمل‌ونقل روستایی و عدالت اجتماعی در حمل‌ونقل کمتر بررسی شده‌اند و نشان‌دهنده وجود شکاف‌های پژوهشی در این حوزه هستند.

کلیدواژه: ابزار بصری‌سازی VOS viewer، پایداری اقلیمی، تحرک اشتراکی، توسعه پایدار، حمل‌ونقل پایدار، زیرساخت کربن صفر

juep.net

۱. مقدمه

رشد بی‌سابقه و شتابان شهرها در سراسر جهان سبک‌های زندگی را، به‌ویژه در حوزه حمل‌ونقل، به‌صورت بنیادین دگرگون کرده است. برآوردهای سازمان ملل متحد نشان می‌دهد نرخ شهرنشینی از ٪۵۶ در وضعیت کنونی به ٪۶۵ تا سال ۲۰۵۰ خواهد رسید (Chen et al., 2025). این رشد جمعیتی پرشتاب فشار قابل‌توجهی بر سامانه‌های حمل‌ونقل وارد می‌کند و به افزایش مصرف انرژی، تشدید ازدحام ترافیک و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌انجامد (Jiang et al., 2022; Sun et al., 2024). از اوایل دهه ۲۰۰۰، پژوهش‌های علمی درباره حمل‌ونقل پایدار به طور چشمگیری گسترش‌یافته است؛ در مراحل نخستین، تمرکز عمدتاً بر کاهش ردپای کربنی و توسعه فناوری‌های پیشرفته بود (Erdem et al., 2024; Mihanović, 2024). در سال‌های اخیر، توجه به رویکردی فراگیرتر معطوف شده که «راه‌حل‌های تحرک دیجیتال»، «برنامه‌ریزی شهری» و «تغییرات رفتاری» را نیز در بر می‌گیرد (Lai et al., 2023; Sohi et al., 2025). طی پنج سال گذشته، نوآوری‌هایی مانند «وسایل نقلیه برقی»، «خودران‌ها» و (MaaS) سیمای سامانه‌های حمل‌ونقل و مدیریت شهری را به طور معنادار دگرگون کرده‌اند؛ بااین‌حال، کارآمدی اجرایی این فناوری‌ها به «سیاست‌گذاری هماهنگ»، «زیرساخت‌های کافی»، «سازگاری رفتاری» و «سرمایه‌گذاری پایدار» وابسته است (Zheng et al., 2013). باوجود این پیشرفت‌ها، هنوز درک جامع و یکپارچه‌ای از ادبیات حمل‌ونقل پایدار در دست نیست. مرورهای موجود غالباً بر موضوعات محدود، بازه‌های زمانی کوتاه یا مناطق خاص متمرکزند و در نتیجه، تصویر کل‌نگر ارائه نمی‌کنند (Araghi et al., 2023; Asha’ari et al., 2024) هدف اصلی این مطالعه، تحلیل روندهای نوظهور در حمل‌ونقل پایدار و شناسایی شکاف‌های پژوهشی است که تا کنون کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. پژوهش حاضر با استفاده از ابزارهای پیشرفته بصری‌سازی علم‌سنجی، از جمله VOSviewer ، به تحلیل تکامل مفاهیم کلیدی و مسیرهای نوپدید در این حوزه می‌پردازد. ازاین‌رو این مطالعه به دنبال پاسخ به این سوالات است که چه روندهای نوظهور در حوزه حمل‌ونقل پایدار شناسایی شده است و این روندها چگونه بر سیاست‌گذاری‌ها و زیرساخت‌های حمل‌ونقل تأثیر گذاشته‌اند؟ چه شکاف‌هایی در استفاده از شاخص‌های پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) در حمل‌ونقل پایدار وجود دارد و چگونه می‌توان این شکاف‌ها را با استفاده از چارچوب‌های جدید و میان‌رشته‌ای پوشش داد؟ و چگونه می‌توان ابعاد مختلف حمل‌ونقل پایدار (اجتماعی، فناوری و زیست‌محیطی) را با استفاده از رویکردهای میان‌رشته‌ای و فناوری‌های نوین تحلیل کرد و این تحلیل‌ها چگونه به هم‌راستایی پژوهش‌ها با اهداف سیاستی کمک می‌کند؟و چه تحولات نوظهوری در مفاهیم جدید شناسایی شده است و این تحولات چه تأثیری بر ساختار همکاری علمی و پژوهش‌های آینده دارند؟ علاوه بر این، این مطالعه به دنبال شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود در سیاست‌گذاری‌ها و زیرساخت‌های حمل‌ونقل پایدار است تا بتواند به طور دقیق‌تری درک جامع‌تری از وضعیت فعلی و نیازهای پژوهشی آینده این حوزه ارائه دهد. درحالی‌که حمل‌ونقل پایدار در دو دهه اخیر به محور اصلی پژوهش‌ها و سیاست‌گذاری‌ها تبدیل شده است، شکاف‌های قابل‌توجهی در ادبیات این حوزه وجود دارد. یکی از این شکاف‌ها، ناهماهنگی و پراکندگی در استفاده از شاخص‌های پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. علاوه بر این، نیاز به چارچوب‌های ادغامی و متنوع برای سنجش و مقایسه معتبر نتایج به‌وضوح احساس می‌شود. همچنین، کمبود پژوهش‌های میان‌رشته‌ای که به تحلیل هم‌زمان ابعاد مختلف حمل‌ونقل پایدار و ادغام فناوری‌های نوین و اجتماعی بپردازند، از دیگر چالش‌های این حوزه است. پژوهش حاضر تلاش دارد این شکاف‌ها را پوشش دهد و از طریق یک رویکرد چندبعدی، تصویری جامع از مسیرهای آینده این حوزه ترسیم کند.

juep.net

نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده از ابزارهای علم‌سنجی و بصری‌سازی برای تحلیل روندهای علمی در حمل‌ونقل پایدار است. این پژوهش به‌ویژه بر طراحی یک چارچوب تحلیلی مبتنی بر «پایداری اجتماعی»، «حکمرانی و برنامه‌ریزی شهری» و «فناوری‌های پاک» تمرکز دارد که می‌تواند شکاف‌های نظری_عملی موجود را کاهش دهد. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش، شناسایی تحولات نوظهور در حوزه‌هایی چون «تحرک اشتراکی»، «شهرهای هوشمند» و «عدالت در دسترسی» است که می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا اهداف تحرک پایدار را با پژوهش‌ها هم‌راستا کنند.

۲. مبانی نظری

۱.۲.حمل‌ونقل پایدار

مفهوم حمل‌ونقل پایدار از اواخر قرن بیستم به‌تدریج وارد ادبیات برنامه‌ریزی شد و از آن زمان تاکنون مسیر تحول قابل‌توجهی پیموده است. نخستین‌بار کمیسیون اروپا در ۱۹۹۲ این مفهوم را در کتاب سبز خود درباره‌ی اثرات حمل‌ونقل بر محیط‌زیست مطرح کرد. در دهه‌های بعد، پایداری حمل‌ونقل جایگاه برجسته‌ای در دستور کارهای جهانی یافت و مثلاً در هدف یازدهم توسعه پایدار (شهرها و جوامع پایدار) گنجانده شد که بر نقش حمل‌ونقل در ارتقای سلامت عمومی، عدالت اجتماعی و پیوندهای شهری - روستایی تأکید می‌کرد. ز اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی، تمرکز پژوهش‌ها عمدتاً بر راهکارهای فناورانه و زیست‌محیطی بود؛ مانند بهبود کارایی سوخت، توسعه سوخت‌های جدید و وسایل نقلیه پاک یا به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (Chen et al ., 2025). با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، بخش حمل‌ونقل نیز توسعه‌یافته است، اما پیامدهای منفی آن شامل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا، مصرف بالای انرژی، تراکم ترافیک و سوانح رانندگی باعث نگرانی گسترده شده است. در نتیجه، هم‌راستا با اهداف توسعه پایدار جهانی، مفهوم «حمل‌ونقل پایدار» پدیدآمده است؛ مفهومی که تأکید بر حفظ تعادل میان نیازهای حمل‌ونقلی جامعه و محدودکردن آسیب‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارد (Heidari et al., 2023).

این رویکردهای اولیه عمدتاً بر جنبه‌های فنی و زیست‌محیطی تأکید داشتند و دستاوردهای مهمی نیز در کاهش آلاینده‌ها و بهبود کارایی سیستم‌ها به همراه آوردند. بااین‌حال، در ادامه آشکار شد که پایداری حمل‌ونقل صرفاً یک مسئله فنی نیست، بلکه ابعاد انسانی و عدالت‌محور نیز دارد. از میانه دهه ۲۰۱۰ به بعد، پارادایم جدیدی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری شکل گرفت که علاوه بر فناوری پاک، بر انصاف اجتماعی و کیفیت زندگی تأکید می‌کند. به تعبیر برخی صاحب‌نظران، گذار از رشد شهری صرف به مرحله بحران تحرک پایدار، مستلزم بازنگری بنیادین در رویکردهای برنامه‌ریزی شهری بوده است که این خود به ظهور پارادایم «تحرک پایدار» انجامیده است. این پارادایم جدید تلاش دارد تا به‌جای خودرو محوری و پاسخ صرف به تقاضای فزاینده سفر، بر مدیریت تقاضا، توسعه حمل‌ونقل همگانی باکیفیت، طراحی شهر فشرده و اولویت‌بخشی به عابر پیاده و دوچرخه تأکید کند (Griffiths et al., 2021). در سال‌های اخیر همچنین ایده شهر هوشمند وارد عرصه شده که از فناوری‌های دیجیتال برای بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل و مشارکت شهروندان بهره می‌گیرد. بدین ترتیب تکامل مفهوم پایداری حمل‌ونقل طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را می‌توان به‌صورت گذار از تمرکز محض بر فناوری‌های پاک و محیط‌زیست به سمت رویکردی جامع‌تر دانست که عدالت اجتماعی و شهر هوشمند را نیز در برمی‌گیرد.

۲.۲. پایداری حمل‌ونقل: توازن میان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی

مفهوم پایداری به طور کلاسیک بر سه رکن اصلی تأکید دارد: حفاظت محیط‌زیست، توسعه اقتصادی و عدالت اجتماعی. در حوزه حمل‌ونقل، دستیابی به پایداری زمانی محقق می‌شود که میان این سه رکن توازن برقرار گردد. از دیدگاه زیست‌محیطی، سیستم حمل‌ونقل پایدار باید آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل برساند، مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر را کاهش دهد و در تخریب زیست‌بوم‌ها نقش کمتری ایفا کند. از منظر اقتصادی، حمل‌ونقل پایدار نیازمند کارایی و اثربخشی هزینه‌ها است؛ به‌گونه‌ای که شبکه‌های حمل‌ونقل بتوانند با استفاده از منابع مالی معقول، دسترسی مناسب و حمایت از رشد اقتصادی را فراهم کنند. در بعد اجتماعی، پایداری حمل‌ونقل به معنای دسترسی عادلانه همه افراد به خدمات جابه‌جایی ایمن و مقرون‌به‌صرفه است. تحقق عدالت در حمل‌ونقل بدین معناست که هیچ گروه یا منطقه‌ای به طور سیستماتیک از دسترسی به خدمات حمل‌ونقل مناسب محروم نباشد و منافع و هزینه‌های سیستم به طور منصفانه بین مردم توزیع شود (Amorim et al., 2025).

در تحلیل تحولات سیستم‌های حمل‌ونقل، نظریه‌های گذار جامعه فناوری به کار گرفته شده‌اند تا چگونگی تغییر تدریجی این نظام‌ها تحت‌تأثیر نوآوری‌ها، سیاست‌ها و رفتار اجتماعی بررسی شود. در حوزه برنامه‌ریزی، مفهوم "پارادایم تحرک پایدار" که در دهه ۲۰۰۰ معرفی شد، به‌عنوان چارچوبی مفهومی به چالش کشیدن اصول سنتی حمل‌ونقل محور و حرکت به‌سوی انعطاف‌پذیری و چندوجهی نگری در برنامه‌ریزی اشاره دارد. علاوه بر این، مدل‌های ارزیابی چرخه عمر برای سنجش اثرات زیست‌محیطی گزینه‌های حمل‌ونقل و مدل‌های تقاضای سفر برای پیش‌بینی اثرات سیاست‌ها بر رفتار مسافران استفاده شده‌اند. به‌طورکلی، مطالعات اخیر نشان می‌دهند که باید از تأکید صرف بر راهکارهای فنی فراتر رفت و ملاحظات اجتماعی و استراتژیک نیز در تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقل گنجانده شوند. به‌عنوان‌مثال، برخی پژوهشگران بر این باورند که بسیاری از مداخلات حمل‌ونقلی گذشته (مانند ترویج خودروهای برقی یا توسعه پیاده‌راه‌ها) بدون تحلیل ارزش‌ها و انگیزه‌های زیرساختی ذی‌نفعان اجرا شده‌اند و این موضوع موجب شده که نتایج محدودی به همراه داشته باشد. در سال‌های اخیر، دو رویکرد تحلیلی میان‌رشته‌ای بیشتر موردتوجه قرار گرفته است که عبارت‌اند از: عدالت فضایی در حمل‌ونقل و حکمرانی چندسطحی (Burger, 2025).

چارچوب‌های نظری مرور شده در این بخش شامل مفهوم تکاملی حمل‌ونقل پایدار، ابعاد سه‌گانه پایداری، پارادایم تحرک پایدار و رویکردهای عدالت‌محور مبنای تحلیل کتاب‌سنجی مقاله حاضر را از سه جهت شکل می‌دهند:

اول، تعیین کلیدواژه‌های جستجو (مانند sustainable mobility، social equity در حمل‌ونقل، smart city)

دوم، دسته‌بندی خوشه‌های موضوعی مقالات استخراج‌شده بر اساس تأکید آن‌ها بر بعد فنی، اقتصادی یا اجتماعی

سوم، تفسیر روندهای زمانی پژوهش‌ها در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ برای شناسایی شکاف‌های موجود (مثلاً کمبود مطالعات تلفیقی متوازن میان سه رکن پایداری). به این ترتیب، مبانی نظری نه به‌عنوان مروری جداگانه، بلکه به‌عنوان نقشه راه تحلیل کتاب‌سنجی عمل می‌کند.

۳. پیشینه تحقیق

مرور نظام‌مند پژوهش‌های پیشین در حوزه پایداری حمل‌ونقل هوشمند را می‌توان در چهار دسته جای داد: (۱) مرورهای علم‌سنجی کلان با تمرکز بر شکاف‌های ادغام سه‌گانه پایداری؛ (۲) مرورهای متمرکز بر بعد اجتماعی؛ (۳) مرورهای حوزه لجستیک سبز و زیرساخت؛ (۴) مرورهای منطقه‌ای با تأکید بر بسترهای کم‌بازنموده شده.

از این رو نخستین نشانه این وضعیت را می‌توان در مرور علم‌سنجی (Tetteh et al., 2024) مشاهده کرد که با تحلیل نظام‌مند ۳۹ مطالعه در بازه ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد شاخص‌های سه‌گانه پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شکل پراکنده و ناهماهنگ به‌کار روند و نیاز به چارچوب‌های ادغامی و تنوع‌بخشی روش‌ها برای سنجش و مقایسه معتبر نتایج، فوری است؛ آن‌ها علاوه بر شناسایی نویسندگان و منابع اثرگذار، چارچوبی مبتنی بر رویکرد «سه‌پایه» برای جهت‌دهی پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌کنند. در ادامه، (Szpilko et al., 2023) با اتکا به داده‌های Scopus و Web of Science رشد سریع ادبیات «پایداری–هوشمندی» را طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ مستند کرده‌اند؛ ایالات متحده، ایتالیا و چین در تولید علم پیشتازند و خوشه‌های «آلودگی»، «سلامت»، «زیرساخت»، «فناوری»، «اینترنت اشیا»، «لجستیک شهری»، «راه‌حل‌های شهری» و «انرژی» نقشه موضوعی حوزه را شکل می‌دهند. بااین‌حال، آنان بر تداوم شکاف نظری–عملی تأکید می‌کنند: ادغام واقعی منابع انرژی تجدیدپذیر در سامانه‌های شهری و پیوند مداخلات فناورانه با الزامات حکمرانی و برنامه‌ریزی هنوز به بلوغ اجرایی نرسیده است. در سوی دیگر، بعد اجتماعی پایداری حمل‌ونقل کمتر از مقدار لازم تحلیل شده است. مرور فراگیر (Bao et al., 2023) بر ۲۷۰۳ سند (۱۹۹۳–۲۰۲۱) نشان می‌دهد با باوجوداین چشمگیر انتشارات از ۵۰ مورد درسال‌های (۱۹۹۳–۲۰۰۰) به ۱۸۷۷ سند در سال‌های (۲۰۱۵–۲۰۲۱) هنوز تحلیل ساختاری منسجم از این بعد نادر است. مضامین مسلطی مانند «بهینه‌سازی چندهدفه» و «شاخص پایداری اجتماعی» تثبیت شده‌اند، اما موضوعات نوظهوری نظیر «حمل‌ونقل اشتراکی»، «شهرهای هوشمند» و «پیامدهای کووید-۱۹» دامنه پرسش‌های جدید و نیاز به سنجه‌های دقیق‌تر را برجسته می‌کنند. هم‌زمان، در قلمرو لجستیک سبز/پایدار، (Ren et al., 2020) با نقشه‌برداری ۳۰۶ انتشار (۱۹۹۹–۲۰۱۹) پنج دسته دانشی - اجتماعی - زیست‌محیطی - اقتصادی، برنامه‌ریزی و مدیریت، کاربرد، فناوری و تحقیق در عملیات و ۵۰ زیرحوزه را سامان می‌دهند؛ باوجوداین، این نظم‌بخشی علمی نیز نشان می‌دهد که انتقال دانش به عمل با گلوگاه‌های سیاستی و فناورانه مواجه است و بدون پیوند واقعی میان سیاست، فناوری و اجرا برطرف نمی‌شود. بررسی کلان (Roman, 2022) بر ۱۲۳۸ رکورد (۲۰۰۰–۲۰۲۲) نیز تصویر مشابهی ارائه می‌کند: پنج محور غالب شامل «تحرک شهری»، «آلاینده‌ها و سوخت‌ها»، «مدل‌های زنجیره تأمین»، «سنجه‌های عملکرد» و «سیاست» شناسایی می‌شود؛ اما محدودیت‌های روش‌شناختی ناشی از اتکا به یک پایگاه‌داده و معیارهای جست‌وجو نشان می‌دهد که حتی بدنه موجود نیز به بازآرایی و غنای روش‌ها برای تولید پژوهش‌های اثرگذار و مسئله‌محور نیاز دارد. در سطح زیرساخت، (Badassa et al., 2020) با علم‌سنجی و بصری‌سازی ادبیات ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، مسیر تکامل مضامین و بازیگران اثرگذار را روشن می‌کنند، اما ضمن اشاره به بهبودهای موضوعی، تصریح می‌کنند که نقشه راه مشخص برای «گام بعدی» چه در تعریف حوزه‌های اولویت‌دار و چه در سازوکارهای اجرایی هنوز مبهم است. با تعمیم دامنه مطالعه به بسترهای کم‌تر پژوهیده، تصویر شکاف‌ها شفاف‌تر می‌شود: (Agyei et al., 2024) در مطالعه آفریقا، با اتکا به پروتکل PRISMA و ابزارهای علم‌سنجی، پنج موضوع غالب و چهار شکاف دانشی را احصا می‌کنند. از کم‌توجهی به «بعد اجتماعی» و «مشارکت جامعه» تا فقدان ادغام معنادار ICT در سامانه‌های حمل‌ونقل، نیاز به ترویج «حمل‌ونقل غیرموتوری» به‌ویژه «پیاده‌روی» و بررسی نسبت حمل‌ونقل با «ریسک بلایا» و هم‌زمان یادآور می‌شوند که همین منطقه از کمبود مرورهای جامع رنج می‌برد و به دستور کار پژوهشی هدایت‌شده نیاز دارد.

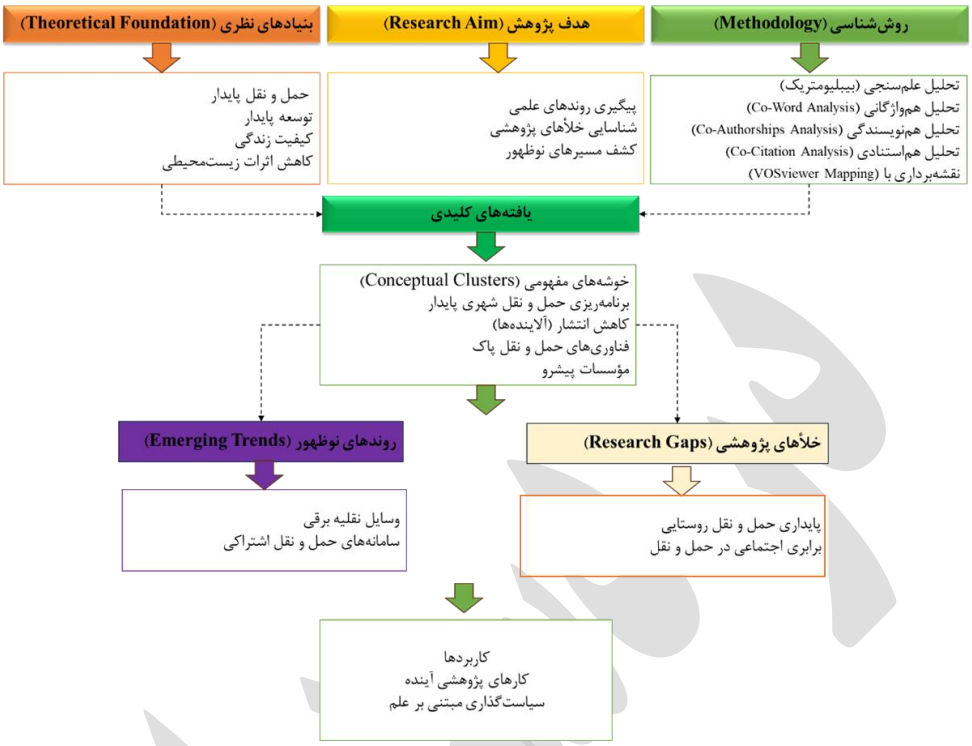
در نهایت، می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که «ناهمگونی سنجه‌ها» و فقدان «چارچوب‌های ادغامی معتبر» برای سه رکن پایداری، سنجش‌پذیری و مقایسه‌پذیری را محدود می‌کند (Tetteh et al., 2024; Roman, 2022)؛ در تقاطع «پایداری–هوشمندی»، ادبیات رشد کرده؛ ولی پیاده‌سازی واقعی به‌ویژه در «ادغام انرژی‌های پاک» و «نهادینه‌سازی مؤلفه‌های حکمرانی/برنامه‌ریزی» عقب‌مانده است (Szpilko et al., 2023)؛ بعد اجتماعی، هم در سطح نظری و هم در بسترهای جغرافیایی کم‌تر بررسی‌شده، همچنان کم تحلیل است (Bao et al., 2023; Agyei et al., 2024)؛ و در «حمل‌ونقل سبز» و «زیرساخت‌های حمل‌ونقل»، باوجود ترسیم ساختار دانش، گذار از شناخت به اجرا با موانع سیاستی/فناورانه و ابهام در مسیرهای آینده مواجه است (Badassa et al., 202; Ren et al., 2020).

با مرور انتقادی مطالعات پیشین، یک کاستی روش‌شناختی مشترک آشکار می‌شود: اغلب مرورهای علم‌سنجی به شناسایی خوشه‌های موضوعی یا هم‌رخدادی واژگان اکتفا کرده‌اند و از کشف روابط ساختاری میان مضامین و اولویت‌بندی شاخص‌ها بر اساس شدت ارتباطات شبکه‌ای غفلت کرده‌اند. در این راستا، روش «تحلیل شبکه‌ای مضامین (Thematic Network Analysis) » می‌تواند این شکاف را پر کند؛ زیرا بر خلاف روش‌های صرفاً توصیفی یا هم‌بستگی، قابلیت استخراج شبکه مضامین پایه، سازمان‌دهنده و جهانی را دارد، روابط سلسله‌مراتبی میان شاخص‌ها را عیان می‌سازد و مسیری نظام‌مند برای ادغام ابعاد اجتماعی، فناورانه و حکمرانی در یک چارچوب واحد فراهم می‌آورد. کاری که مرورهای پیشین به دلیل اتکا به روش‌های هم‌رخدادی واژگان یا تحلیل استنادی صرف، از انجام آن ناتوان بوده‌اند.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری «تحلیل شبکه‌ای مضامین» به عنوان روش اصلی یکپارچه‌سازی، سه محدودیت کلیدی مطالعات پیشین را هدف می‌گیرد: (۱) ناهمگونی سنجه‌ها و فقدان چارچوب ادغامی (Tetteh et al., 2024; Roman, 2022) را از طریق ارائه شبکه‌ای از مضامین با روابط وزنی و اولویت‌بندی شده برطرف می‌کند؛ (۲) شکاف نظری–عملی در پیوند حکمرانی و فناوری (Szpilko et al., 2023) را با تعیین گره‌های اتصال میان مضامین «سیاست» و «زیرساخت فناورانه» پر می‌نماید؛ و (۳) کم‌توجهی به بعد اجتماعی (Bao et al., 2023; Agyei et al., 2024) را از طریق گنجاندن مضامین مرتبط با مشارکت جامعه و عدالت حمل‌ونقل در شبکه، به جای حاشیه‌رانی آن‌ها، مرتفع می‌سازد.

بر این مبنا، پژوهش حاضر شکاف مرکزی زیر را هدف می‌گیرد: «طراحی و اعتبارسنجی یک چارچوب ادغامی شاخص‌ها و مضامین» که هم‌زمان «بعد اجتماعی»، «سازوکارهای حکمرانی/برنامه‌ریزی» و «ادغام انرژی‌های پاک و ICT» را پوشش دهد، «شکاف نظری_عملی» را کاهش دهد و قابلیت پیاده‌سازی میان بستر به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور داشته باشد؛ چارچوبی که بر «شواهد علم‌سنجی روزآمد»، «تحلیل شبکه‌ای مضامین» و «مطالعات تجربی» تکیه کند و مسیر «عملیاتی‌سازی» (تعریف شاخص‌ها، داده‌ها و ابزارهای سیاستی قابل‌اجرا) را روشن سازد. به‌این‌ترتیب، این چارچوب جهت‌گیری پژوهش را تثبیت و مسیر اقدام را مشخص می‌کند.

در پیشینه پژوهش، فقدان یک چارچوب یکپارچه برای ادغام ابعاد اجتماعی، حکمرانی و فناوری‌های پاک در حمل‌ونقل پایدار به‌وضوح دیده می‌شود. همچنین، به‌رغم رشد سریع پژوهش‌ها در زمینه تحرک هوشمند و پایداری، هنوز شکاف‌های قابل‌توجهی در پیاده‌سازی این مفاهیم در عمل وجود دارد. پژوهش حاضر با شناسایی این شکاف‌ها و طراحی چارچوبی مبتنی بر شواهد علم‌سنجی، تلاش دارد تا مسیری عملیاتی برای هم‌راستاسازی پژوهش‌ها و سیاست‌گذاری‌ها در این حوزه ارائه دهد. در شکل ۱ چارچوب مفهومی پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱: روند و چارچوب پژوهش علم‌سنجی در حوزه حمل‌ونقل شهری پایدار: از مبانی نظری تا کاربردهای سیاستی

۴. مواد و روش

این پژوهش از رویکرد علم‌سنجی برای تحلیل نظام‌مند ساختار فکری، الگوهای همکاری علمی و تحول موضوعی پژوهش‌ها در حوزه حمل‌ونقل پایدار استفاده می‌کند. تحلیل علم‌سنجی به دلیل توانایی آن در پردازش حجم زیادی از انتشارات علمی و آشکارسازی روابط ساختاری پنهان در تولید دانش علمی انتخاب شد.

۱.۴. منبع داده و راهبرد جست‌وجو

داده‌های کتاب‌شناختی این پژوهش به‌طور انحصاری از پایگاه داده Scopus استخراج شدند. پایگاه اسکوپوس به دلیل پوشش گسترده بین‌رشته‌ای، ساختار استاندارد فراداده‌های کتاب‌شناختی و سازگاری با ابزارهای تحلیل علم‌سنجی انتخاب شد. این پایگاه اطلاعات ساختاریافته‌ای از جمله عنوان، چکیده، کلیدواژه‌ها، نویسندگان، وابستگی‌های سازمانی، کشورها و منابع استنادی ارائه می‌دهد که برای تحلیل‌های شبکه‌ای علمی ضروری هستند.

جست‌وجو در فیلد TITLE-ABS-KEY انجام شد تا ارتباط مفهومی اسناد با موضوع تحقیق تضمین شود. راهبرد جست‌وجو به صورت زیر تعریف شد:

TITLE-ABS-KEY ("sustainable transportation" OR "transportation sustainability")

بازه زمانی مطالعه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را شامل می‌شود. این بازه زمانی انتخاب شد زیرا پژوهش‌های مرتبط با حمل‌ونقل پایدار از اوایل دهه ۲۰۰۰، همزمان با گسترش گفتمان توسعه پایدار، سیاست‌های کاهش تغییرات اقلیمی و راهبردهای حمل‌ونقل

کم‌کربن، توجه ساختارمندتری در ادبیات علمی پیدا کرده‌اند. محدود کردن مطالعه به این بازه زمانی امکان بررسی مرحله شکل‌گیری و رشد این حوزه پژوهشی را فراهم می‌کند.

تنها اسنادی که به زبان انگلیسی منتشر شده و در حوزه‌های موضوعی مرتبط مانند مهندسی، علوم محیط‌زیست، حمل‌ونقل و علوم اجتماعی نمایه شده بودند در نظر گرفته شدند.

انواع اسناد مورد بررسی شامل موارد زیر بودند:

- مقالات پژوهشی
- مقالات مروری
- مقالات کنفرانسی
- فصول کتاب

این انواع اسناد به این دلیل انتخاب شدند که دارای ساختار علمی رسمی، فراداده‌های کتاب‌شناختی کامل و محتوای علمی قابل استناد هستند و برای تحلیل‌های شبکه‌ای و استنادی مناسب محسوب می‌شوند. در مقابل، سرمقاله‌ها، یادداشت‌ها، ارتباطات کوتاه و اسنادی که اطلاعات کتاب‌شناختی کافی نداشتند از مطالعه حذف شدند تا انسجام و قابلیت اتکای تحلیل حفظ شود.

اجرای راهبرد جست‌وجو در مجموع ۱۵۲۲ رکورد اولیه را بازیابی کرد.

۲.۴. فرآیند غربال‌گری و پالایش داده‌ها

شناسایی، غربال‌گری و ارزیابی واجد شرایط بودن اسناد مطابق با چارچوب PRISMA 2020 انجام شد تا شفافیت روش‌شناختی و قابلیت تکرارپذیری پژوهش تضمین شود. نمودار جریان PRISMA در شکل ۲ ارائه شده است.

در مرحله نخست، رکوردهای تکراری شناسایی و حذف شدند که منجر به حذف ۸۷ مدرک شد و در نتیجه ۱۴۳۵ رکورد برای مرحله غربال‌گری باقی ماند.

در مرحله دوم، عنوان و چکیده اسناد برای ارزیابی میزان ارتباط موضوعی بررسی شدند. اسناد در صورتی حذف شدند که:

- بر پایداری بدون بعد حمل‌ونقل تمرکز داشتند؛
- به فناوری‌های حمل‌ونقل بدون چارچوب پایداری می‌پرداختند؛
- خارج از محدوده مفهومی حمل‌ونقل پایدار قرار می‌گرفتند.

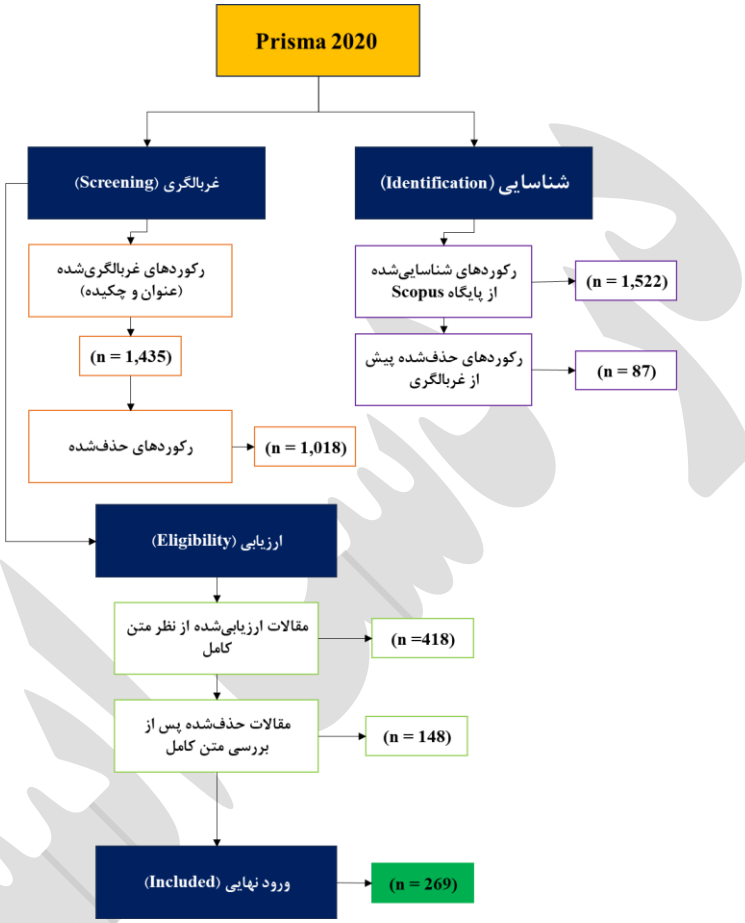
در این مرحله ۱۰۱۸ رکورد حذف شد.

در مرحله سوم، متن کامل ۴۱۸ سند باقی‌مانده در صورت دسترسی بررسی شد. اسناد در موارد زیر حذف شدند:

- نداشتن فراداده کتاب‌شناختی کافی برای تحلیل‌های شبکه‌ای؛

- عدم انطباق نوع سند با معیارهای از پیش تعیین‌شده؛
- همخوانی ضعیف مفهومی با حوزه حمل‌ونقل پایدار.

پس از ارزیابی متن کامل، ۱۴۸ سند دیگر حذف شد و در نهایت ۲۶۹ مقاله برای تحلیل علم‌سنجی نهایی انتخاب شدند.



شکل ۲: نمودار جریان فرایند شناسایی، غربال‌گری و انتخاب اسناد مطابق با چارچوب (PRISMA 2020) در مطالعه علم‌سنجی حوزه حمل‌ونقل پایدار

۳.۴. استخراج و آماده‌سازی داده‌ها

اطلاعات کتاب‌شناختی استخراج‌شده شامل موارد زیر بود:

- عنوان مقاله
- نام نویسندگان
- سال انتشار
- وابستگی سازمانی نویسندگان

- کشور
- کلیدواژه‌های نویسندگان و کلیدواژه‌های نمایه‌شده
- منابع استنادی

رکوردها در قالب‌های سازگار با نرم‌افزارهای تحلیل علم‌سنجی استخراج شدند. پیش از انجام تحلیل، فرآیند پاک‌سازی داده‌ها برای افزایش دقت انجام شد. این فرآیند شامل موارد زیر بود:

۴.۴. حذف رکوردهای ناقص

یکسان‌سازی نام‌های مشابه نویسندگان و سازمان‌ها در صورت وجود ناهماهنگی

تهیه یک فایل هم‌ارزسازی واژگان (thesaurus) برای ادغام اصطلاحات مترادف یا نگارش‌های متفاوت کلیدواژه‌ها

این مرحله پیش‌پردازش به کاهش پراکندگی در شبکه‌های هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها و بهبود اعتبار خوشه‌بندی کمک کرد.

۵.۴. تکنیک‌های تحلیل علم‌سنجی

تحلیل علم‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer و SciMAT انجام شد تا امکان بررسی همزمان ساختار مفهومی و ساختار استنادی حوزه فراهم شود.

۶.۴. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها

برای شناسایی موضوعات اصلی پژوهش و خوشه‌های مفهومی، تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer انجام شد. حداقل فراوانی تکرار کلیدواژه ۵ بار در نظر گرفته شد تا واژگان کم‌تکرار حذف شده و ساختار مفهومی واضح‌تری حاصل شود. برای بررسی پایداری نتایج، تحلیل حساسیت با آستانه‌های ۳ و ۷ نیز انجام شد.

همچنین از قابلیت Overlay Visualization برای بررسی روندهای زمانی استفاده شد. کلیدواژه‌هایی که دارای میانگین سال انتشار جدیدتری بودند به عنوان شاخصی از موضوعات نوظهور در نظر گرفته شدند.

۷.۴. تحلیل هم‌تألیفی

شبکه‌های هم‌تألیفی در سه سطح تحلیل شدند:

- نویسندگان
- سازمان‌ها
- کشورها

برای هر سطح، حداقل آستانه ۳ مقاله در نظر گرفته شد تا شبکه‌های حاصل از نظر تحلیلی معنادار و از نظر بصری قابل تفسیر باشند. این تحلیل به شناسایی الگوهای همکاری علمی و بازیگران تأثیرگذار در حوزه کمک کرد.

۸.۴. تحلیل هم‌استنادی و هم‌ارجاعی

برای بررسی بنیان‌های فکری و ارتباطات موضوعی میان اسناد، دو تحلیل هم‌استنادی (Co-citation) و هم‌ارجاعی (Bibliographic Coupling) انجام شد.

- تحلیل هم‌استنادی برای شناسایی آثار بنیادین و ساختار فکری حوزه استفاده شد.
- تحلیل هم‌ارجاعی برای بررسی نزدیکی موضوعی میان پژوهش‌های جدیدتر به کار رفت.

این روش‌های شبکه‌ای به دلیل اتکای مستقیم به روابط استنادی علمی، نسبت به روش‌های مبتنی بر همبستگی ساده برای تحلیل ساختار دانش مناسب‌تر هستند.

نمودار راهبردی و تحول موضوعی

برای تحلیل پویایی موضوعات پژوهشی، از نرم‌افزار SciMAT برای ترسیم نمودار راهبردی (Strategic Diagram) استفاده شد. این نمودار امکان دسته‌بندی موضوعات را به چهار گروه فراهم می‌کند:

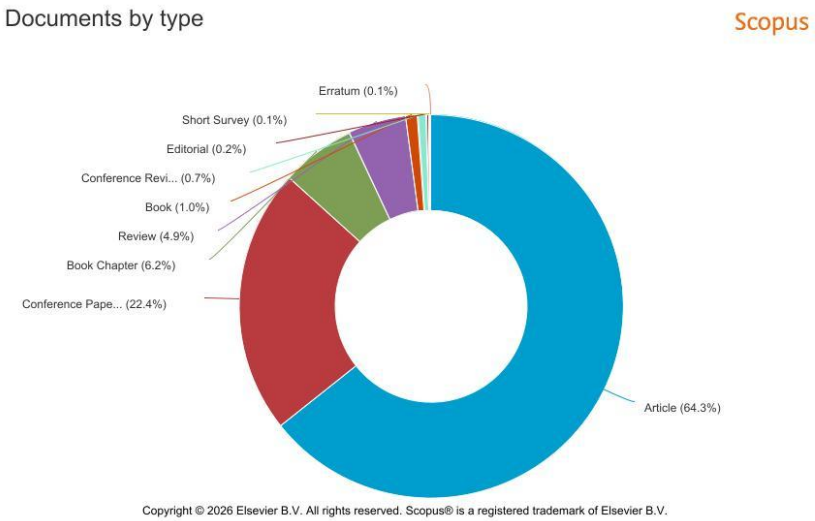
- موضوعات محرک (Motor themes)
- موضوعات پایه
- موضوعات نوظهور یا در حال افول
- موضوعات حاشیه‌ای

این تحلیل به درک میزان بلوغ و اهمیت هر خوشه موضوعی در ادبیات حمل‌ونقل پایدار کمک می‌کند.

برای افزایش اعتبار نتایج، پایداری خوشه‌ها با تغییر پارامترهای تحلیل بررسی شد و نمونه‌ای از اسناد هر خوشه برای ارزیابی همگرایی موضوعی مورد بازبینی قرار گرفت.

توزیع انواع اسناد

توزیع انواع اسناد در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بخش عمده اسناد را مقالات پژوهشی تشکیل می‌دهند که بیانگر غالب بودن تولید دانش اصیل در این حوزه است. همچنین وجود مقالات مروری، مقالات کنفرانسی و فصول کتاب نشان‌دهنده ماهیت بین‌رشته‌ای و پویای پژوهش‌های مرتبط با حمل‌ونقل پایدار است.



شکل ۳: توزیع انواع اسناد در ادبیات حمل و نقل پایدار (۲۰۰۰–۲۰۲۴)

۹.۴. محدودیت‌های روش‌شناسی

این مطالعه تنها بر داده‌های استخراج‌شده از پایگاه Scopus متکی است. اگرچه این پایگاه پوشش گسترده و فراداده‌های ساختاریافته‌ای ارائه می‌دهد، ممکن است برخی از آثار علمی که در سایر پایگاه‌های داده نمایه شده‌اند در این تحلیل لحاظ نشده باشند. این محدودیت در تفسیر نتایج پژوهش مدنظر قرار گرفته است.

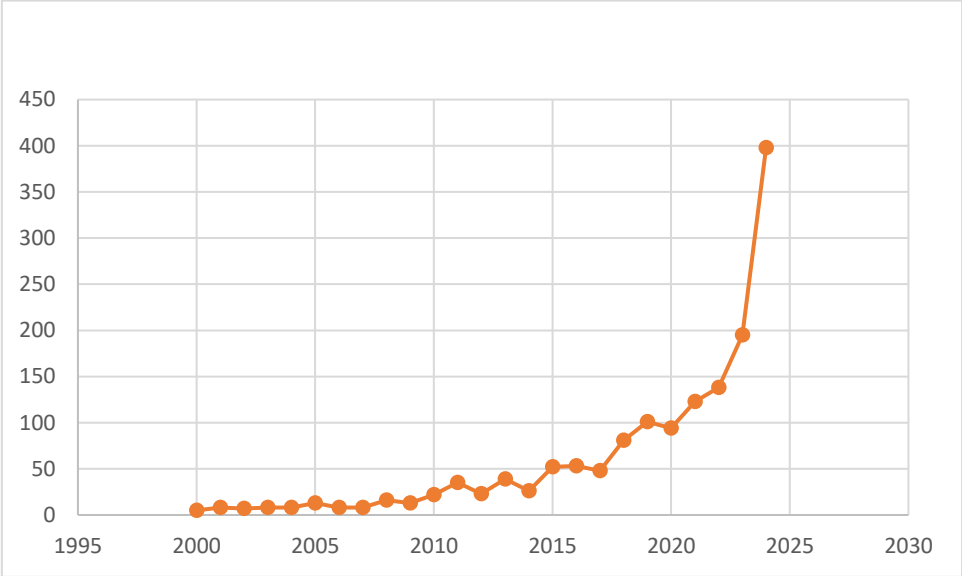
۵. یافته‌ها

در این قسمت به بررسی یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های پژوهش پرداخته شده است. در ابتدا به بررسی یافته‌های پژوهش و خروجی‌های نرم‌افزار (VOS viewer) پرداخته شده و سپس هر کدام از نقشه‌ها تجزیه‌وتحلیل شده است. سپس به‌منظور تحلیل یافته‌ها و بررسی حوزه‌های موضوعی نوظهور و شکاف پژوهش‌ها به تجزیه‌وتحلیل پرداخته شده است.

۱.۵. تحلیل روند تاریخی رشد کمی انتشارات علمی

نمودار خطی که مستقیماً از پایگاه‌داده Scopus استخراج شده است، تصویر روشنی از رشد تولیدات علمی در حوزه حمل‌ونقل پایدار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ ارائه می‌دهد. این پیشرفت را می‌توان به چهار مرحله مجزا تقسیم کرد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، تولیدات علمی اندک و پراکنده است الگویی که مشخصه «مرحله پیش‌پارادایمی (pre-paradigmatic) «حوزه‌های نوپدید است؛ جایی که پژوهشگران مفاهیم بنیادین را بدون چارچوب نظری مشترک و به صورت مستقل کاوش می‌کنند .نقطه عطف حدود سال ۲۰۱۵ هم‌زمان با تصویب اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs) و افزایش الزامات سیاستی برای حمل‌ونقل کم‌کربن رخ می‌دهد .این همزمانی نشان می‌دهد که تکامل این حوزه نه درون‌زا، بلکه «برون‌زا» (exogenous) و پاسخ به فشارهای نهادی و سیاستی بوده است .جهش تعداد مقالات از ۲۰ سند در ۲۰۱۸ به بیش از ۴۰ سند در ۲۰۲۴، بیانگر گذار حوزه به «مرحله

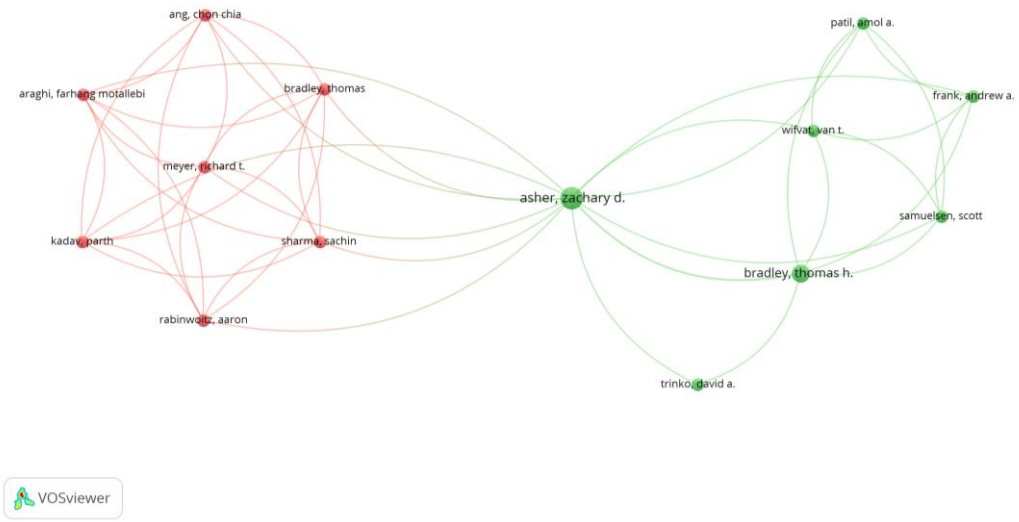
بلوغ کمّی (quantitative maturity) «است. بااین‌حال، کاهش نسبی در ۲۰۲۴ (بخش ناشی از تأخیر نمایه‌سازی) یک پرسش تکاملی ایجاد می‌کند: آیا حوزه به یک فلات اشباع رسیده یا در آستانه یک جهش کیفی (مثلاً به سمت روش‌های ترکیبی و میان‌رشته‌ای) قرار دارد؟ پاسخ به این پرسش نیازمند تحلیل کیفی ساختار مفهومی است، نه فقط روند شمارشی .به‌طورخلاصه، الگوی رشد فزاینده اما با نوسان اخیر، حکایت از آن دارد که حوزه حمل‌ونقل پایدار از مرحله «تولید ایده» به مرحله «بازآرایی پارادایمی» وارد شده است.



شکل ۴: تعداد مقالات نمایه‌شده در اسکوپوس درباره‌ی حمل‌ونقل پایدار در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، نشان‌دهنده‌ی تحول تاریخی و افزایش علاقه پژوهشگران به این حوزه

۲.۵. شبکه نویسندگان پیشرو در تحقیقات حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

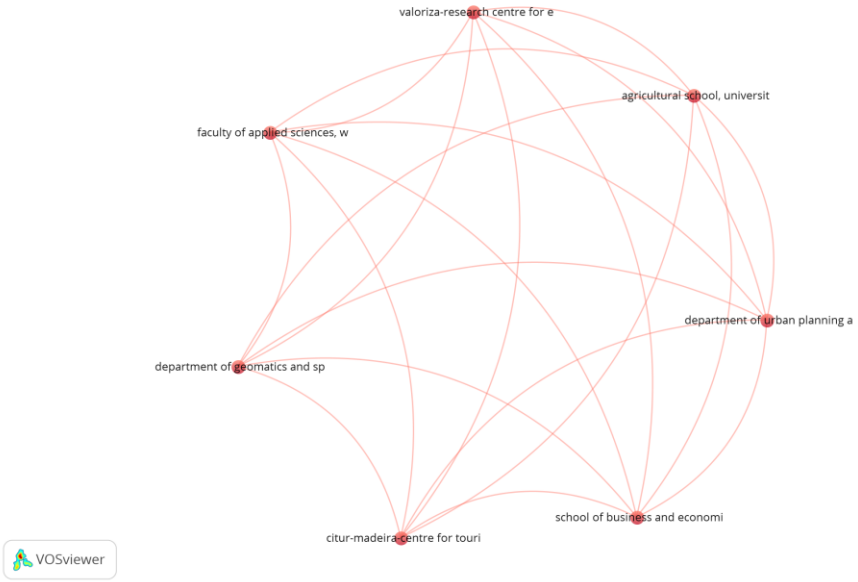
در این مرحله، الگوهای هم تألیفی بین محققان حوزه حمل‌ونقل پایدار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طبق نقشه شبکه نشان داده شده در شکل ۵، شبکه هم‌تألیفی نویسندگان نشان می‌دهد که جامعه تحقیقاتی به دو خوشه نسبتاً جداگانه تقسیم شده است (قرمز و سبز) .این ساختار دوخوشه‌ای نشان‌دهنده تکامل واگرا (divergent evolution) در حوزه است: دو جریان فکری مستقل با حداقل همپوشانی شکل گرفته‌اند. از منظر تکامل علم، چنین واگرایی در مراحل میانی بلوغ حوزه رخ می‌دهد، زمانی که رویکردهای روش‌شناختی یا مسئله‌محور متفاوت تثبیت می‌شوند .وجود فقط یک پل رابط (Zachary D. Asher)بیانگر آن است که حوزه هنوز به مرحله یکپارچگی سیستمی (systemic integration) نرسیده است و هزینه‌های شناختی و روش‌شناختی همکاری میان‌این دو جریان بالاست .برای تکامل آتی، سیاست‌های پژوهشی باید به‌طور هدفمند «پل‌های بیشتری» بین این خوشه‌ها ایجاد کنند، نه صرفاً درون هر خوشه تولید علم را افزایش دهند .در غیر این صورت، خطر تله تشدید درون‌گروهی (echo chamber) و کاهش نوآوری میان‌رشته‌ای وجود خواهد داشت.



شکل ۵: روابط هم نویسندگی میان پژوهشگران کلیدی در حوزه حمل‌ونقل پایدار بر اساس داده‌های اسکوپوس (۲۰۰۰–۲۰۲۴)، خوشه‌ها نمایانگر گروه‌هایی از نویسندگان با همکاری نزدیک

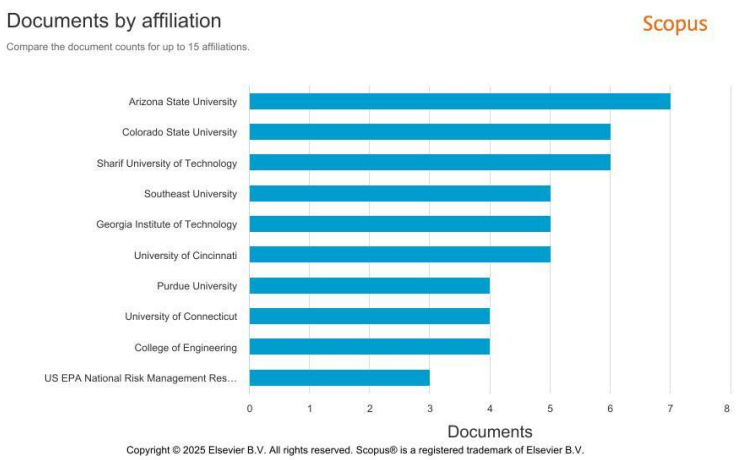
۳.۵. شبکه هم نویسندگی در تحقیقات حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

در این بخش، شبکه‌ای از همکاری‌ها بین دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در حوزه حمل‌ونقل پایدار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. برای این منظور، از مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ استفاده شد. آنچه در این شبکه مشاهده شد این بود که تقریباً همه این مؤسسات به نوعی با هم همکاری دارند و به هم پیوسته‌اند. شبکه هم‌نویسندگی نهادی برخلاف شبکه نویسندگان، ساختاری یکپارچه و به هم پیوسته نشان می‌دهد .این الگو حاکی از آن است که در سطح کلان‌سازمانی، حوزه حمل‌ونقل پایدار به «مرحله بلوغ نهادی (institutional maturity) «رسیده است؛ جایی که مرزهای سازمانی مانع همکاری نمی‌شود .حضور نهادهایی با تخصص‌های متنوع (برنامه‌ریزی شهری، اقتصاد، کشاورزی، گردشگری، سنجش از دور) در یک شبکه منسجم، بیانگر آن است که تکامل حوزه دیگر بر اساس یک رشته مادر (مثلاً مهندسی عمران) پیش نمی‌رود، بلکه به یک «پیکربندی میان‌رشته‌ای تثبیت‌شده» تبدیل شده است .بااین‌حال، تمرکز همکاری‌ها در چند گره مرکزی (مانند دپارتمان برنامه‌ریزی شهری) نشانه ساختار هسته–پیرامون (core-periphery) است؛ این ساختار در تکامل حوزه‌ها ابتدا کارآمد است، اما در بلندمدت می‌تواند به وابستگی به مسیر (path dependency) و کاهش تنوع نوآوری منجر شود. بنابراین، مرحله بعدی تکامل نیازمند تقویت نقش نهادهای پیرامونی و ایجاد گره‌های جدید است. این همکاری‌ها می‌تواند منجر به ایجاد مدل‌ها و راه‌حل‌های جامع برای مقابله با چالش‌های این حوزه شود. شکل ۶ شبکه هم‌نویسندگی مؤسسات دانشگاهی درگیر در تحقیقات حمل و نقل پایدار بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را بر اساس داده‌های Scopus و تولید شده با استفاده از VOS viewer نشان می‌دهد. این تصویرسازی، الگوها و شدت همکاری بین مؤسسات را در این زمینه برجسته می‌کند.



شکل ۶: روابط هم نویسندگی میان مؤسسات دانشگاهی فعال در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار بر اساس داده‌های اسکوپوس (۲۰۰۰–۲۰۲۴)، شبکه همکاری‌های میان‌نهادی و الگوهای تعامل مؤسسات

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، نمودار هم‌کاری نهادی نشان می‌دهد که چگونه دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در تولید دانش در حوزه حمل و نقل پایدار نقش داشته‌اند. در این رتبه‌بندی، دانشگاه ایالتی آریزونا با هفت نشریه در رتبه اول قرار دارد. دانشگاه ایالتی کلرادو و دانشگاه صنعتی شریف نیز هر کدام با شش نشریه در رتبه دوم مشترک قرار دارند. حضور دانشگاه شریف در میان موسسات برتر، نقش مهمی را که محققان ایرانی در این زمینه ایفا کرده‌اند، برجسته می‌کند. در اینجا متن ترجمه شده به سبکی واضح و توضیحی با استفاده از فعل مجهول آمده است. علاوه بر این، این تحلیل، سایر موسسات فعال مانند موسسه فناوری جورجیا، دانشگاه جنوب شرقی و دانشگاه پردو را نیز مشاهده کرد.نکته جالب دیگری که در این بررسی به آن اشاره شده است، مشارکت موسسات غیر دانشگاهی مانند آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) است. این به ما یادآوری می‌کند که همکاری بین مراکز دانشگاهی و نهادهای سیاست‌گذاری از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر اهمیت همکاری بین نهادهای دانشگاهی و سیاست‌گذاری را به ما یادآوری می‌کند. به طور کلی، داده‌ها نشان می‌دهد که دانشگاه‌های مستقر در ایالات متحده بخش بزرگی از فعالیت‌های علمی در این زمینه را انجام داده‌اند. با این حال، در کنار این تمرکز، گسترش تدریجی مشارکت بین‌المللی، به ویژه از کشورهای آسیایی، مشاهده می‌شود. این روند نشان می‌دهد که همکاری‌های علمی فرامرزی و ایجاد شبکه‌های بین سازمانی در حوزه حمل و نقل پایدار به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کنند



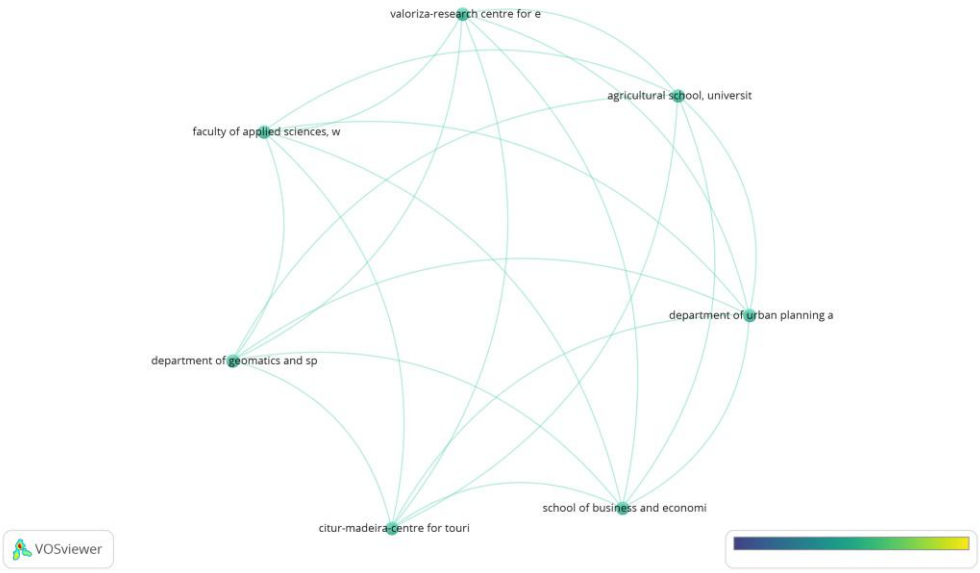
شکل ۷: تعداد مقالات نمایه شده در اسکوپوس درباره حمل‌ونقل پایدار بر اساس وابستگی سازمانی، ایالتی آریزونا در رتبه نخست، پس از آن دانشگاه ایالتی کلرادو و دانشگاه صنعتی شریف؛ نمودار نشان‌دهنده نقش برجسته مؤسسات آمریکایی و افزایش مشارکت بین‌المللی، به‌ویژه از آسیا

۴.۵. هم تألیفی نهادی برحسب بازه زمانی (Overlay Visualization)

نمودار ارائه‌شده در شکل ۸ با استفاده از تکنیک Overlay Visualization ترسیم شده و تحول زمانی همکاری‌های علمی میان نهادهای پژوهشی در حوزه حمل‌ونقل پایدار طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. در این نوع نمایش، رنگ هر دایره (نمایانگر یک نهاد علمی) بیانگر میانگین سال انتشار مستندات هم تألیف شده منتسب به آن نهاد است. نمایش زمانی هم‌تألیفی نهادی تصویری از (لایه‌های زمانی تکامل) ارائه می‌دهد: نهادهای بنفش (هسته اولیه، حدود ۲۰۱۰-۲۰۱۵) عمدتاً نهادهای پژوهشی آمریکایی و اروپایی هستند؛ نهادهای زرد (ورودکنندگان اخیر، ۲۰۱۹-۲۰۲۳) شامل نهادهایی از آسیا، جنوب اروپا و مؤسسات کاربردی‌تر می‌شوند .این جابه‌جایی رنگی از بنفش به زرد، بیانگر «جانشینی تدریجی بازیگران حوزه» و «جهانی‌شدن جغرافیای تولید علم» است . فرایندی که در تکامل حوزه‌های بالغ رخ می‌دهد .نهادهایی که هم هسته مرکزی قدیم و هم رنگ زرد دارند (مانند دپارتمان برنامه‌ریزی شهری)، نمونه‌های بازیگران پایدار هستند که توانسته‌اند خود را با تحول مسئله‌ها وفق دهند؛ در مقابل، نهادهایی که فقط بنفش هستند احتمالاً از جریان اصلی پژوهش خارج شده‌اند .از منظر تکامل حوزه، این الگو نشان می‌دهد که حوزه حمل‌ونقل پایدار از مرحله «رهبری چند نهاد پیشگام» به مرحله «رقابت پذیری گسترده و چندقطبی» منتقل شده است. پیامد سیاستی: فرصت برای کشورهای در حال توسعه (از جمله ایران) برای ورود به جریان اصلی از طریق همکاری با نهادهای زردرنگ جدید.

این الگو نشان می‌دهد که این مؤسسات در امواج نوین پژوهشی نقش فعال‌تری داشته و همکاری‌های بین نهادی قوی‌تری در این بازه شکل‌گرفته است. نکته قابل‌توجه آن است که نهادهایی همچون دپارتمان برنامه‌ریزی شهری و مدرسه کسب‌وکار و اقتصاد در عین حفظ موقعیت مرکزی خود در شبکه، در سال‌های اخیر نیز از فعالیت پژوهشی چشمگیری برخوردار بوده‌اند. این موضوع حاکی از آن است که این نهادها نقش پل‌های ارتباطی را ایفا کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که گروه‌های کوچک‌تر پژوهشی را به هم متصل ساخته و به تسهیل همکاری‌های میان‌رشته‌ای کمک کرده‌اند. علاوه بر این، پراکنش یکنواخت رنگ‌ها در سراسر شبکه

نشان می‌دهد که فرایند جهانی‌شدن همکاری‌های علمی به‌صورت تدریجی و فراگیر رخ‌داده و محدود به چند نهاد خاص نبوده است. تنوع تخصصی نهادهای مشارکت‌کننده در حوزه‌هایی چون علوم کاربردی، ژئوماتیک، برنامه‌ریزی شهری، کشاورزی، گردشگری و اقتصاد نیز بیانگر آن است که پژوهش در زمینه حمل‌ونقل پایدار ذاتاً به رویکردهای میان‌رشته‌ای و تلفیقی نیاز دارد. به طور خلاصه، یافته‌ها نشان می‌دهد که هرچند ریشه‌های همکاری نهادی به اواسط دهه ۲۰۱۰ بازمی‌گردد، اما افزایش چشمگیری در میزان فعالیت‌های مشارکتی بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ مشاهده شده است. این روند، فرصتی ارزشمند برای پژوهشگران و سیاست‌گذاران فراهم می‌سازد تا بازیگران و نهادهای کلیدی نوظهور را شناسایی کرده، همکاری‌های جدید را تعریف نموده و دستور کارهای هدفمندتری برای مشارکت‌های چند نهادی آینده طراحی کنند.

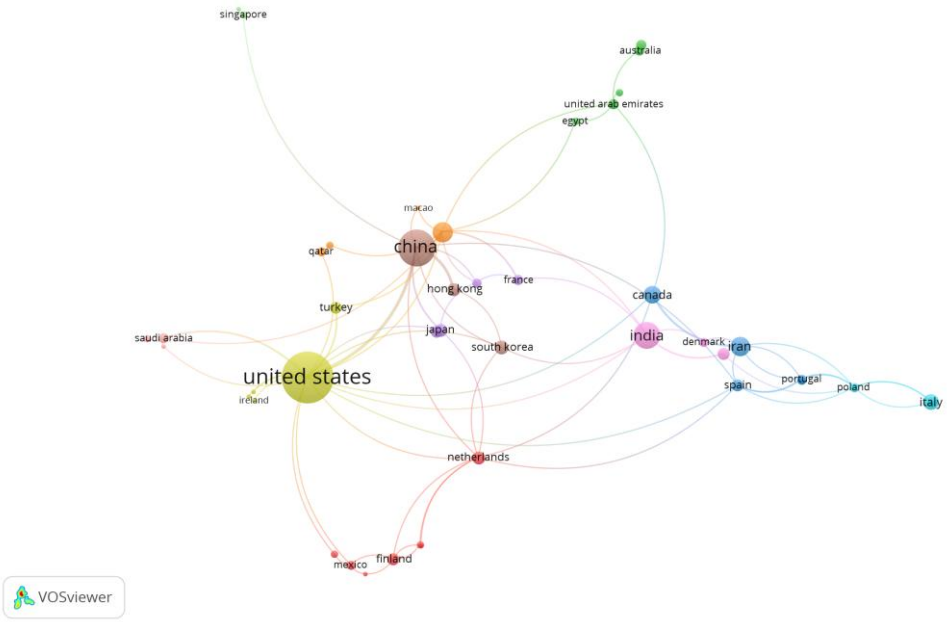


شکل ۸: نمایش زمانی هم نویسندگی مؤسسات در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار، رنگ گره‌ها نشان‌دهنده میانگین سال انتشار هر مؤسسه، از بنفش (مشارکت‌کنندگان اولیه) تا زرد (ورود کنندگان اخیر)، بیانگر پویایی‌های در حال تحول همکاری‌های میان سازمانی

۵.۵. شبکه هم تألیفی بین‌المللی در سطح کشورها در پژوهش‌های حوزه حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

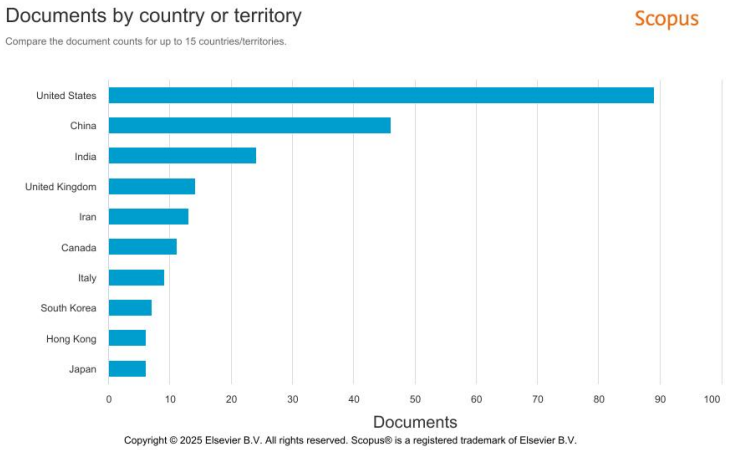
شکل ۹ شبکه همکاری علمی بین‌المللی میان کشورهایی را نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ در زمینه پژوهش‌های مرتبط با حمل‌ونقل پایدار فعالیت داشته‌اند. این نمودار بیانگر رشد چشمگیر همکاری‌های علمی میان دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و مراکز برنامه‌ریزی در سطح بین‌المللی است. شبکه مزبور با بهره‌گیری از تکنیک (Network Visualization) در نرم‌افزار VOS viewer و بر پایه تحلیل هم تألیفی در سطح کشورها ترسیم شده است. نمای برهم‌نهی هم تألیفی نهادی بر اساس داده‌های پایگاه Scopus نشان می‌دهد که نهادهایی نظیر مرکز پژوهشی VALORIZA، دانشکده علوم کاربردی (Faculty of Applied Sciences)، دانشگاه‌های کشاورزی، دپارتمان برنامه‌ریزی شهری و فضایی (Department of Urban and Spatial Planning)، مرکز پژوهشی گردشگری مادیرا (CITUR Madeira) و مجموعه‌ای از مدارس کسب وکار و اقتصاد، نقشی محوری در شکل‌دهی به ساختار دانشی این حوزه ایفا کرده‌اند.در ادامه، مروری تحلیلی بر پنج پژوهش شاخص که نشانگر همکاری‌های گسترده میان این نهادها هستند ارائه می‌شود: در مطالعه‌ای توسط (Castanho et al., 2020)، پایداری سیستم حمل‌ونقل در

جزایر قناری مورد تحلیل قرار گرفت. این پژوهش حاصل همکاری چند نهادی میان دانشگاه علوم کاربردی WSB لهستان، دانشگاه (University of the Azores)، مرکز پژوهشی VALORIZA و مرکز CITUR Madeira بود. یافته‌های پژوهش تأکید می‌کند که طراحی مدل‌های منطقه محور حمل‌ونقل پایدار که با ویژگی‌های جغرافیایی و ساختاری سرزمین‌های جزیره‌ای سازگار باشند، ضرورتی انکارناپذیر است. در ادامه این مسیر پژوهشی (Castanho et al., 2021) الگوهای حمل‌ونقل در مجمع‌الجزایر آزور را مورد بررسی قرار دادند. این مقاله که در همکاری میان، VALORIZA، CITUR Madeira، دانشگاه WSB و پژوهشگرانی از اسپانیا و صربستان تدوین شد، موردتوجه قابل‌توجهی در محافل علمی قرار گرفته است. نویسندگان در این پژوهش تأکید می‌کنند که نبود هم‌افزایی نهادی در سیستم‌های حمل‌ونقل جزیره‌ای یکی از موانع اساسی توسعه پایدار محسوب می‌شود. پژوهش دیگری توسط (Vulevic et al., 2020) به بررسی پویایی دسترسی و همکاری‌های فرامرزی میان پرتغال و اسپانیا پرداخته است. در این مطالعه، نهادهایی همچون مؤسسه حمل‌ونقل CIP صربستان، مرکزVALORIZA ، دانشگاه WSB و مدارس کشاورزی و برنامه‌ریزی شهری مشارکت داشته‌اند. این همکاری نشانگر تلاش منطقه‌ای در اروپای جنوبی برای تقویت انسجام زیرساختی است. یافته‌های پژوهش درباره نابرابری‌های فضایی در دسترسی حمل‌ونقل با استقبال گسترده جامعه علمی مواجه شده است. در پژوهشی دیگر، (Naranjo Gómez et al., 2022) که در مجله European Planning Studies منتشر شد، به بررسی لجستیک حمل‌ونقل و پایداری زیرساخت‌ها در شبه‌جزیره ایبری پرداختند. این تحقیق حاصل همکاری میان‌رشته‌ای میان پژوهشگرانی از دانشگاه اکسترمادورا (University of Extremadura)، مرکز VALORIZA و مؤسسه CIP بود. یافته‌ها بر اهمیت ترکیب مهندسی، برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری منطقه‌ای در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار تأکید دارند. در نهایت، مقاله‌ای از (Castanho et al., 2024) نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش که با همکاری پژوهشگرانی از دانشگاه‌هایی چون دانشگاه آزور و دانشگاه لاس پالماس اسپانیا انجام شده، به بررسی نقش حمل‌ونقل بین‌جزیره‌ای در بهبود انسجام فضایی و سرزمینی در مجمع‌الجزایر آزور می‌پردازد. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که علیرغم وجود سیاست‌های حمایتی، نبود هماهنگی میان برنامه‌های حمل‌ونقل و نیازهای واقعی ساکنان، مانعی جدی در مسیر یکپارچگی فضایی مناطق جزیره‌ای محسوب می‌شود.به‌طور کلی، مجموعه این مطالعات نشان می‌دهد که پیشرفت در حوزه حمل‌ونقل پایدار به‌شدت وابسته به همکاری‌های علمی مستحکم میان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و نهادهای سیاست‌گذار در سطوح ملی و بین‌المللی است. افزون بر این، هم‌تألیفی در تولید مقالات علمی نه‌تنها موجب افزایش اعتبار علمی و استنادی آثار پژوهشی می‌شود، بلکه به تدوین راه‌حل‌های جامع، کاربردی و سیاست‌محور برای تحقق حمل‌ونقل پایدار در مناطق شهری، مرزی و جزیره‌ای کمک شایانی می‌کند.



شکل ۹: شبکه هم‌نویسندگی بین‌المللی، گره نمایانگر یک کشور، اندازه‌ی گره متناسب با میزان تولید علمی و ضخامت یال‌ها نشان‌دهنده‌ی شدت همکاری؛ ایالات متحده و چین به‌عنوان مراکز اصلی، و کشورهایی مانند هند، ایران و اسپانیا به‌عنوان پل‌های ارتباطی میان خوشه‌های منطقه‌ای، بازتاب‌دهنده‌ی پویایی‌های پژوهشی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای

شکل شماره ۱۰ توزیع جغرافیایی تولیدات علمی در حوزه حمل‌ونقل پایدار را بر اساس داده‌های استخراج‌شده از پایگاه Scopus نشان می‌دهد. این نمودار که تعداد انتشارات علمی را در سطح کشورها مقایسه می‌کند، بیانگر تمرکز فعالیت‌های پژوهشی در چند منطقه کلیدی جهان است .بر اساس شکل ۱۰، ایالات متحده آمریکا با حدود ۹۰ مقاله منتشرشده در رتبه نخست قرار دارد که نشان‌دهنده نقش‌محوری و پیشگامانه آن در پیشبرد دانش این حوزه است. این برتری را می‌توان به زیرساخت پژوهشی قدرتمند و سرمایه‌گذاری گسترده این کشور در حوزه حمل‌ونقل پایدار نسبت داد. در رتبه دوم، جمهوری خلق چین با بیش از ۴۰ انتشارات علمی جای دارد که بازتاب‌دهنده رشد چشمگیر مشارکت علمی بین‌المللی چین در دو دهه اخیر است. این جایگاه، تمرکز راهبردی چین بر توسعه فناوری‌های هوشمند حمل‌ونقل و سیاست‌های کاهش کربن را برجسته می‌سازد. پس از چین، هند با تعداد قابل‌توجهی از انتشارات و حضور فزاینده در سال‌های اخیر، در رتبه سوم قرار دارد که نشان می‌دهد این کشور توانسته است جایگاهی مهم در ادبیات علمی این حوزه به دست آورد. در رتبه‌های میانی، کشورهایی چون انگلستان، ایران، کانادا و ایتالیا دیده می‌شوند .حضور ایران که حتی از برخی کشورهای توسعه‌یافته پیشی گرفته نشان‌دهنده رشد علاقه پژوهشگران ایرانی به موضوعاتی همچون توسعه شهری پایدار، آلودگی‌های مرتبط با حمل‌ونقل، و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی است. در رده‌های بعدی، چند کشور آسیای شرقی از جمله کره جنوبی، هنگ‌کنگ و ژاپن به چشم می‌خورند. هرچند سهم فعلی آن‌ها از تولیدات علمی نسبتاً پایین است، اما روندهای جهانی حاکی از رشد تدریجی سهم علمی این کشورها در آینده است. در مجموع، ساختار این نمودار نشان می‌دهد که هرچند تولید دانش در حوزه حمل‌ونقل پایدار ماهیتی جهانی یافته است، اما هنوز تمرکز جغرافیایی مشخصی در آن مشاهده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که کشورهایی با زیرساخت پژوهشی پیشرفته و چارچوب‌های سیاست‌گذاری منسجم همچنان نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به چشم‌انداز علمی این حوزه ایفا می‌کنند.



شکل ۱۰: تعداد مقالات نمایه‌شده در اسکوپوس درباره‌ی حمل‌ونقل پایدار بر اساس کشور یا منطقه (۲۰۰۰–۲۰۲۴)؛ ایالات متحده با فاصله‌ی قابل‌توجه در صدر، پس از آن چین و هند؛ نمودار نشان‌دهنده‌ی نابرابری‌های منطقه‌ای در تولید پژوهش و نقش برتر کشورهایی با زیرساخت پژوهشی پیشرفته و سرمایه‌گذاری راهبردی در حمل‌ونقل پایدار

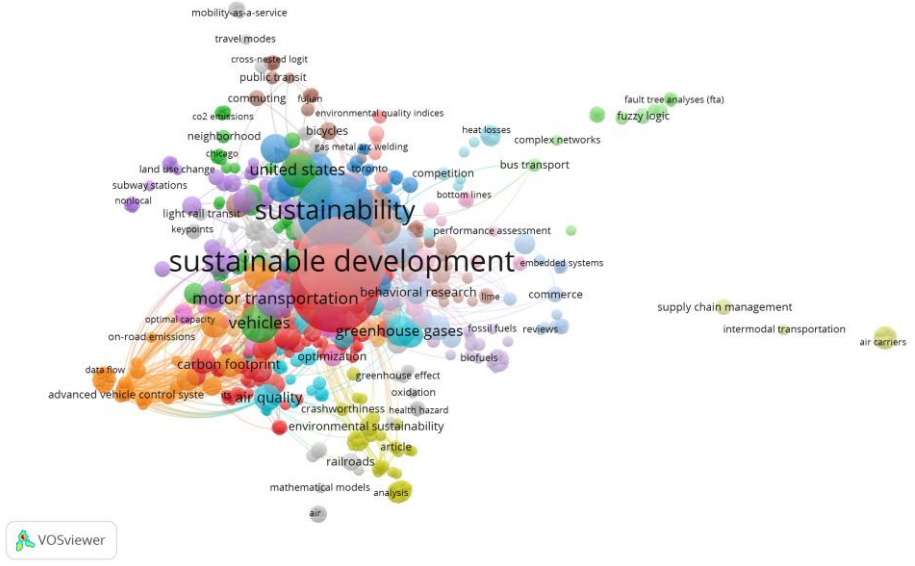
۶.۵. شبکه هم رخدادی کلیدواژه‌ها در حوزه پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار

درشکل ۱۱ شبکه هم‌رخدادی واژگان کلیدی در حوزه حمل‌ونقل پایدار را نشان می‌دهد که بر پایه تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ و با استفاده از نرم‌افزار (VOSviewer) ترسیم شده است. این تحلیل، ساختار مفهومی پژوهش‌ها را در قالب چند خوشه موضوعی متمایز سازمان‌دهی می‌کند.

ساختار هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها (شکل ۱۱) سه لایه تکاملی را آشکار می‌سازد:

- هسته مرکزی (خوشه قرمز – مضامین تثبیت‌شده): شامل «توسعه پایدار»، «حمل‌ونقل شهری» و «انتشار آلاینده‌ها» است .وجود این هسته نشان می‌دهد که حوزه دارای یک «گفتمان مرکزی بالغ» شده است. مرحله‌ای از تکامل که در آن مفاهیم پایه به حد اشباع نظری رسیده‌اند و دیگر چالش اصلی آن‌ها نیست.
- خوشه‌های میانی (سبز و آبی – روش‌شناسی و فناوری): مانند «تحلیل پوششی داده‌ها»، «منطق فازی»، «شهر هوشمند .«ظهور این خوشه‌ها بیانگر «چرخش روش‌شناختی» در تکامل حوزه است :از پرسش‌های «چیست؟» و «چقدر؟» به پرسش‌های «چگونه ترکیب کنیم؟» و چگونه هوشمندانه مدیریت کنیم؟.
- پیرامون (کلیدواژه‌های پراکنده مانند حمل‌ونقل ترکیبی، لجستیک زنجیره تأمین): این پراکندگی نشان از «شکاف‌های تکاملی» دارد؛ مناطقی که پتانسیل تبدیل شدن به هسته‌های جدید را دارند، اما هنوز به بلوغ نرسیده‌اند. از منظر تکامل حوزه، هرچه یک کلیدواژه به پیرامون نزدیک‌تر باشد، احتمال «مرگ موضوعی» یا «جهش به هسته در آینده» بیشتر است. تشخیص این دو نیاز به تحلیل زمانی دارد (که در شکل ۱۲ ارائه می‌شود). شبکه هم‌رخدادی نشان می‌دهد که حوزه حمل‌ونقل پایدار از مرحله «تشکیل واژگان مشترک» عبور کرده و اکنون در مرحله تخصصی‌شدن و انشعاب به زیرحوزه‌ها قرار دارد. چالش اصلی تکاملی پیش‌رو، ادغام مجدد این زیرحوزه‌ها در یک چارچوب یکپارچه است همان کاری که پژوهش حاضر با «تحلیل شبکه‌ای مضامین» انجام می‌دهد.

پژوهش (Anderson, 2008) نیز، هرچند در بستر نظام‌های غذایی انجام شده، اما با تمرکز بر سیاست‌های اجتماعی و عدالت توزیعی، پیامدهای مهمی برای زیرساخت‌های حمل‌ونقل دارد. این پژوهش با اتخاذ رویکردی مبتنی بر حقوق، بر فرآیندهای حاکمیتی گسترده‌تری تأکید دارد که می‌توان آن‌ها را در سیاست‌گذاری حمل‌ونقل نیز به‌کار بست.در پژوهش (Wey, Huang،2018) نیز، بر فقدان برنامه‌ریزی یکپارچه و ناهماهنگی میان مدهای مختلف حمل‌ونقل در کشورهای در حال توسعه تأکید شده است. در نقشه هم‌رخدادی، کلیدواژه‌هایی مانند «حمل‌ونقل ترکیبی و (شرکت‌های هواپیمایی Air Carriers) در بخش‌های پیرامونی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده پتانسیل‌های مغفول و خلأهای پژوهشی در این زمینه هستند.از سوی دیگر، (Zheng et al., 2013) چارچوبی کاربردی برای تدوین شاخص‌های عملکرد در سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار ارائه می‌کند. این مطالعه با استناد به مطالعات موردی از شهرهای آمریکا، بر ضرورت اتصال داده‌های تجربی به اهداف بلندمدت پایداری و ترویج تصمیم‌سازی مبتنی بر شواهد تأکید دارد. در مطالعات مقایسه‌ای جدیدتر (۲۰۲۴)، تغییرات سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی از منظر برنامه‌ریزی شهری و عملکرد عملیاتی در دوران بحران‌های اقتصادی و اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرکز علمی فزاینده‌ای بر تاب‌آوری و انطباق‌پذیری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری شکل گرفته است.در مجموع، نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها و مرور آثار پژوهشی مرتبط نشان می‌دهد که حمل‌ونقل پایدار به‌طور عمیق در گفتمان‌های زیست‌محیطی و شهری ریشه دارد و از نظر روش‌شناختی در حال گذار به سوی تحلیل‌های داده‌محور پیچیده، مدل‌سازی علّی، و طراحی سیاست‌محور است. با این حال، پراکندگی مفاهیم پیرامونی حاکی از وجود شکاف‌های قابل‌توجه در ادبیات است و مسیرهایی تازه را برای پژوهش‌های میان‌رشته‌ای آینده می‌گشاید.



شکل ۱۱: شبکه هم رخدادی کلیدواژه‌ها در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰–۲۰۲۴)، نقشه شامل خوشه‌های موضوعی اصلی پیرامون پایداری، اثرات زیست‌محیطی، حمل‌ونقل عمومی و نوآوری فناورانه؛ اندازه‌ی گره‌ها بیانگر فراوانی کلیدواژه و رنگ خوشه‌ها نشان‌دهنده‌ی گروه‌بندی‌های مفهومی؛ واژه‌های پیرامونی نمایانگر حوزه‌های خاص یا کمتر کاوش‌شده‌ی پژوهش.

۷.۵. شبکه هم رخدادی کلیدواژه‌ها در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار

در شکل ۱۲ تحول زمانی و موضوعی پژوهش‌های علمی در حوزه حمل‌ونقل پایدار را از طریق نقشه هم رخدادی مفهومی به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد. این تحلیل با استفاده از قابلیت (Overlay Visualization) در نرم‌افزار VOS viewer انجام شده است . نقشه زمانی هم‌رخدادی (شکل ۱۲) مهم‌ترین شواهد را برای روایت یکپارچه از تکامل حوزه فراهم می‌کند. گذر رنگ از آبی (۲۰۱۰) به زرد (۲۰۲۴) را می‌توان در قالب سه پارادایم متوالی تفسیر کرد:

پارادایم اول (آبی، ۲۰۱۰-۲۰۱۴): کارایی فنی و کنترل آلودگی ،کلیدواژه‌های غالب: انتشارCO_2 ، مصرف انرژی، بهینه‌سازی سوخت .در این مرحله، مسئله اصلی حوزه به صورت «چگونه آلودگی حمل‌ونقل را کاهش دهیم؟» تعریف می‌شد .رویکردها عمدتاً مهندسی و تک‌متغیره بودند.

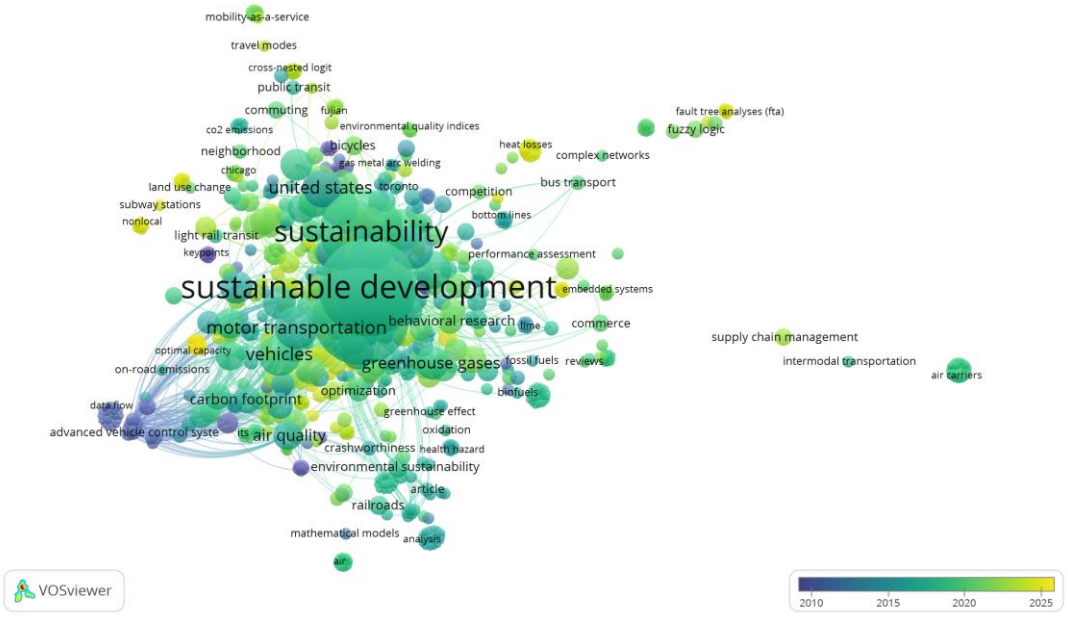
پارادایم دوم (سبز، ۲۰۱۵-۲۰۲۰): «تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش‌شناسی ترکیبی«کلیدواژه‌های نوظهور: منطق فازی، تحلیل قابلیت اطمینان، شاخص‌های چندمعیاره .این گذار نشان می‌دهد که حوزه تشخیص داد پایداری نمی‌تواند با یک شاخص مثلاً (CO_2) سنجیده شود؛ بنابراین به ابزارهای تلفیقی روی آورد .این مرحله از نظر تکامل علم، مرحله (بلوغ روش‌شناختی) است.

پارادایم سوم (زرد، ۲۰۲۱-۲۰۲۴ و پیش‌بینی تا ۲۰۲۵): (سیستم‌های هوشمند، اشتراکی و عدالت‌محور) کلیدواژه‌های غالب: تحرک به عنوان خدمت (MaaS) ، تحرک اشتراکی، تحرک هوایی پیشرفته، هوش مصنوعی، عدالت فضایی .این جهش رنگی از سبز به زرد، عمیق‌ترین تغییر تکاملی حوزه را نشان می‌دهد: نه فقط ابزارها، بلکه «خود مسئله» بازتعریف شده است .اکنون سؤال اصلی این است: «چگونه سیستمی از حمل‌ونقل طراحی کنیم که همزمان کم‌کربن، عادلانه، هوشمند و در دسترس همه باشد؟ این گذار معادل «انقلاب پارادایمی (paradigm shift) در معنای کوهن است.

شکاف‌های تکاملی آشکارشده در نقشه :حضور ضعیف مفاهیمی مانند «حمل‌ونقل ترکیبی» و «لجستیک زنجیره تأمین» در مناطق زرد، هشدار می‌دهد که این زیرحوزه‌ها ممکن است از جریان اصلی تکامل عقب بمانند، مگر اینکه با مفاهیم هوشمند (مثل اینترنت اشیا در لجستیک) پیوند داده شوند.: پژوهش حاضر(هم‌راستایی کامل با پارادایم سوم) با استفاده از «تحلیل شبکه‌ای مضامین» دقیقاً به دنبال ادغام شاخص‌های عدالت، حکمرانی و فناوری‌های پاک است – یعنی همان چیزی که نقشه زردرنگ به عنوان مسیر آینده نشان می‌دهد.

در همین راستا، پژوهش (Mahajan et al., 2021) با ارائه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی پایداری حمل‌ونقل شهری که ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را از طریق تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و روش‌های داده‌محور ترکیب می‌کند، به غنای این محور مفهومی افزوده است.. ر کنار این محورهای تثبیت‌شده، به‌ویژه موضوعات مرتبط با کاهش کربن همچون ردپای کربن (Carbon Footprint) و انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2 Emissions)، پژوهش‌های جدیدتر مانند آثار (Du et al, 2021) و (Rezaei et al., 2023)، به بررسی راهبردهای کربن‌زدایی (Decarbonization) در سیستم‌های حمل‌ونقل پرداخته‌اند و بر نقش سیاست‌گذاری عمومی، نوآوری فناورانه و بهبود کارایی انرژی در توسعه حمل‌ونقل کم‌کربن تأکید دارند.مناطق سبز رنگ نقشه، که به دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ مربوط می‌شوند، شامل کلیدواژه‌های روش‌شناختی مانند ؛ منطق فازی ،تحلیل قابلیت اطمینان (Reliability Analysis) و شاخص‌های چندمعیاره (Multi-criteria Indicators) هستند و نشانه‌ای از چرخش روش‌شناختی حوزه به‌سوی تحلیل‌های میان‌بخشی و داده‌محور به شمار می‌آیند. برای نمونه، (Heidari et al.,2020). با استفاده از اعداد و

منطق فازی، شاخص ترکیبی پایداری شهری را توسعه دادند و ظرفیت ابزارهای پیشرفته ارزیابی را به‌خوبی نشان دادند.در مقابل، مناطق زرد رنگ نقشه نمایانگر جدیدترین و در حال رشدترین محورهای پژوهشی هستند. کلیدواژه‌هایی مانند (Mobility-as-a-Service)، تحرک‌اشتراکی (Shared Mobility) وتحرک هوایی پیشرفته (Mobility Advanced Air) دلالت بر گذار حوزه به‌سوی مدل‌های دیجیتال، شبکه‌ای و هوشمند حمل‌ونقل دارند. در این میان، (Liu et al., 2023) با ارائه یک مرور مفهومی جامع از تحرک هوایی پیشرفته (AAM)، موضوعاتی چون طراحی eVTOL، ملاحظات مقرراتی و چالش‌های حکمرانی را بررسی کردند. همچنین، (Li et al., 2023) با تحلیل گسترده پیچیدگی‌های سیاستی در اکوسیستم‌های تحرک اشتراکی، به درک عمیق‌تری از چالش‌های مدیریتی و نهادی این بخش کمک کردند. در همین راستا، پژوهش‌های دیگری نیز چارچوب‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر تحلیل لحظه‌ای داده‌ها را برای پایش الگوهای انتشار شهری پیشنهاد کرده‌اند که کاربرد آن‌ها در پایش پایداری شهری اهمیت ویژه‌ای دارد.در بخش‌های پیرامونی شبکه، مفاهیمی نظیر ؛ حمل‌ونقل ترکیبی، زنجیره تأمین (Logistics Supply Chain) پایداری منطقه‌ای پیوندهای ضعیف‌تری دارند که نشانگر جهت‌گیری‌های نوظهور یا کمتر توسعه‌یافته پژوهشی است. در همین زمینه،(Chen et al., 2025) پایداری حمل‌ونقل را در مناطق جزیره‌ای بررسی کرده و بر ضرورت سیاست‌گذاری‌های بومی‌سازی‌شده و برنامه‌ریزی زیرساختی تطبیقی تأکید کرده‌اند. به‌طور کلی، الگوهای زمانی و موضوعی نمایش‌داده‌شده در نقشه هم‌رخدادی، در کنار مرور ادبیات اخیر، نشان می‌دهد که حوزه حمل‌ونقل پایدار از رویکردهای فنی و زیست‌محیطی اولیه به‌سوی سیاست‌گذاری داده‌محور، برنامه‌ریزی فضایی عادلانه، سیستم‌های اشتراکی و خدمات هوشمند یکپارچه در حال گذار است.در این میان، خوشه‌های زرد رنگ نشانگر محورهای نویدبخش پژوهش‌های آینده هستند، به‌ویژه در نقاطی که حمل‌ونقل پایدار با نوآوری دیجیتال و هوش مصنوعی تلاقی پیدا می‌کند.



شکل ۱۲: هم‌پوشانی هم رخدادی کلیدواژه‌ها در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰–۲۰۲۴)، رنگ گره‌ها میانگین سال انتشار هر کلیدواژه از آبی (مفاهیم اولیه، حدود ۲۰۱۰) تا زرد (مفاهیم نوظهور، حدود ۲۰۲۴)، اندازه گره‌ها فراوانی کلیدواژه و ضخامت یال‌ها میزان هم رخدادی تحول مفهومی از تمرکز زیست‌محیطی و فنی به‌سوی تحرک هوشمند، خدمات دیجیتال و عدالت فضایی

۸.۵. تحلیل استنادی اسناد باهدف شناسایی خوشه‌های دانشی و مسیرهای نوپدید پژوهشی در حوزه حمل‌ونقل پایدار

نقشه زیر نتایج تحلیل استنادی در سطح اسناد را در حوزه حمل‌ونقل پایدار طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. در این تصویر، هر گره نمایانگر یک اثر علمی (مقاله یا سند پژوهشی) است و اندازه هر گره متناسب با تعداد استنادهایی است که آن اثر دریافت کرده است. یال‌ها (اتصالات) روابط استنادی میان مقالات را نمایش می‌دهند و رنگ هر گره بیانگر یک خوشه مفهومی متمایز است. شبکه استنادی (شکل ۱۳) لایه پنهان تکامل حوزه یعنی جریان تأثیر و جانشینی ایده‌ها را آشکار می‌کند. سه یافته کلیدی از منظر تکامل علم قابل تفسیر است:

الف: وجود هسته سخت پارادایمی گره‌های بزرگ در مرکز (Haghshenas, 2012؛ Steg, 2005؛ Mihyeon & Amekudzi, 2005) مقاله‌ای هستند که چارچوب‌های بنیادین حوزه را تعریف کرده‌اند. این مقالات به عنوان «کتاب‌های درسی زنده» عمل می‌کنند و هر پژوهش جدیدی ناچار به ارجاع به آنهاست .از نظر تکامل، این هسته نشان می‌دهد که حوزه وارد مرحله عادی علم شده است؛ جایی که یک پارادایم مسلط وجود دارد و پژوهشگران در درون آن به حل مسئله می‌پردازند.

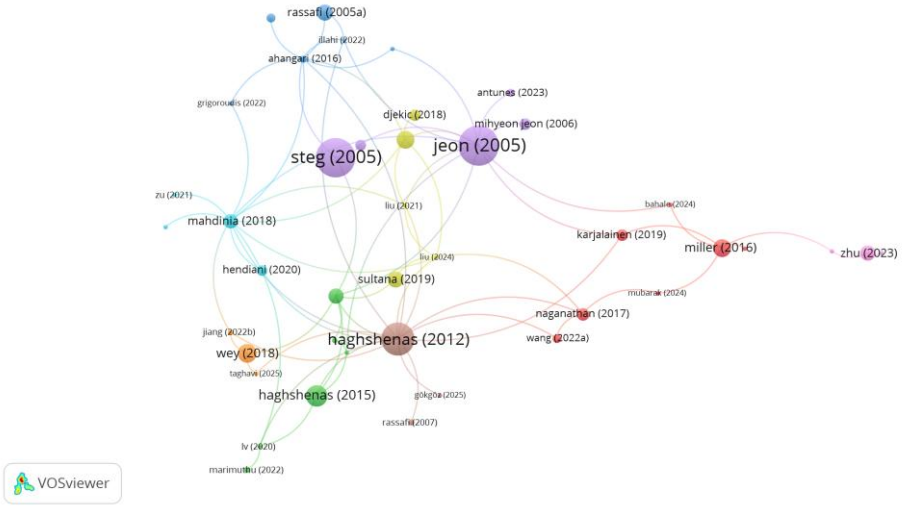
ب: شکاف ساختاری میان خوشه سبز/بنفش (رفتاری-زیست‌محیطی) و خوشه قرمز (سیاست شرکتی) خوشه قرمز (پژوهش‌های زنجیره تأمین پایدار و مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها) با اتصالات بسیار محدود به مرکز شبکه، نمونه کلاسیک تکامل جداافتاده است. این گسست یک هشدار تکاملی جدی است: اگر این دو جریان به هم متصل نشوند، حوزه دچار «شکاف دانشی عمودی» می‌شود .یعنی یافته‌های رفتاری هرگز به سیاست‌گذاری شرکتی تبدیل نمی‌شوند و بالعکس. معمولاً پل‌زدن میان این نوع خوشه‌ها نیازمند پژوهش‌های تلفیقی (مثلاً مطالعات موردی مشارکتی) و استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل شبکه‌ای مضامین است .

پ: گره‌های حاشیه‌ای (Antunes, 2023؛ Zu, 2021؛Grigoroudis, 2022) این گره‌ها که از نظر زمانی جدید هستند اما اتصال ضعیفی به هسته دارند، دو تفسیر تکاملی ممکن را پیش رو می‌گذارند. الف : پیشگامان پارادایم جدید که هنوز پذیرفته نشده‌اند اما در آینده هسته خواهند شد؛ ب : حاشیه‌نشینان بی‌تأثیر که هرگز به جریان اصلی راه نمی‌یابند. تمایز این دو نیاز به تحلیل محتوایی عمیق‌تر دارد؛ پژوهش حاضر با مرور نظام‌مند خود نشان می‌دهد که موضوعاتی مانند MCDA و هوش مصنوعی در دسته اول قرار دارند.

به‌طور کلی، نتایج این تحلیل استنادی سه شکاف کلیدی را برجسته می‌سازد:

- گسست میان مطالعات رفتاری و پژوهش‌های سیاست‌گذاری کلان،
- ادغام ضعیف پژوهش‌های ایرانی در گفتمان علمی جهانی،
- فقدان پیوند شبکه‌ای برای مفاهیم نوظهور سال‌های اخیر.

این یافته‌ها می‌توانند پایه‌ای ارزشمند برای تعریف مسیرهای آتی پژوهش فراهم کنند، به‌ویژه در حوزه‌هایی چون تحرک هوشمند، عدالت فضایی، سیستم‌های حمل‌ونقل اشتراکی و تحلیل‌های ترکیبی رفتاری ـ زیست‌محیطی مبتنی بر کلان‌داده.



شکل ۱۳: شبکه استنادی اسناد علمی در حوزه‌ی حمل‌ونقل پایدار (۲۰۰۰–۲۰۲۴)، هر گره نمایانگر یک انتشار، اندازه گره تعداد استنادها و رنگ‌ها خوشه‌های مفهومی؛ محور حوزه‌های موضوعی کلیدی شامل تحلیل رفتاری، مدل‌سازی پایداری و ارزیابی زیست‌محیطی؛ خوشه قرمز، متمرکز بر سیاست شرکت‌ها و زنجیره تأمین، با جریان‌های پژوهشی مرکزی ادغام محدود و نشان‌دهنده‌ی شکاف‌های مفهومی و مسیرهای نوظهور

در این مطالعه، برای تحلیل روندهای نوظهور و تحولات در حوزه حمل‌ونقل پایدار، از مفاهیم نمودارهای راهبردی استفاده شد. این نمودارها به‌طور مؤثر تغییرات مفهومی در این حوزه را در قالب چهار گروه اصلی شبیه‌سازی کردند:

۱. تم‌های فعال و برجسته: این تم‌ها شامل تحرک اشتراکی و شهرهای هوشمند هستند که در حال حاضر در تحقیقات علمی این حوزه بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند.
۲. تم‌های نوظهور: تم‌هایی که در سال‌های اخیر به سرعت رشد کرده‌اند، مانند هوش مصنوعی در حمل‌ونقل و مراقبت بهداشتی در حمل‌ونقل که در حال تبدیل شدن به محورهای اصلی تحقیقاتی در این زمینه هستند.
۳. تم‌های پایدار: این تم‌ها به مسائلی مربوط می‌شوند که در طول زمان ثابت مانده‌اند، نظیر کاهش کربن و پایداری زیست‌محیطی، که هنوز هم بخش‌های عمده‌ای از تحقیقات حمل‌ونقل پایدار را تشکیل می‌دهند.
۴. تم‌های در حال کاهش: تم‌هایی که به‌تدریج در حال کاهش هستند و کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، مانند حمل‌ونقل مسافری و پیاده‌روی. این مفاهیم با کاهش توجه در مطالعات اخیر روبه‌رو شده‌اند.

این روندها نشان می‌دهند که در سال‌های اخیر، موضوعات جدیدی مانند هوش مصنوعی و تحرک سلامت‌محور به‌طور چشمگیری رشد کرده‌اند، در حالی که موضوعات سنتی مانند حمل‌ونقل مسافری و ..کاهش توجه را تجربه کرده‌اند.این تحولات نشان‌دهنده انتقال از پارادایم‌های کلاسیک به سوی چارچوب‌های نوین‌تر با تأکید بر فناوری‌های نوین و پایداری اجتماعی و سلامت است.برای مقایسه و ارتباط این یافته‌ها با تحلیل‌های قبلی، روندهای نوظهور در نمودارهای راهبردی با تحلیل‌های هم‌تألیفی و Co-word مقایسه شدند. نتایج این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که نویسندگان برجسته در این حوزه عمدتاً به سمت موضوعات نوظهور حرکت کرده‌اند، در حالی که تم‌های کلاسیک توجه کمتری از طرف جامعه علمی جلب کرده‌اند. این تغییرات به‌ویژه نشان‌دهنده تغییرات در روش‌شناسی‌های تحقیقاتی و تمرکز بر پایداری اجتماعی و فناورانه است.

۶. بحث

۱.۶. نگاه جامع و نوآوری مطالعه نسبت به پژوهش‌های پیشین

این مطالعه، دیدگاهی جامع و کامل در مورد روندهای تحقیقاتی حمل‌ونقل پایدار ارائه می‌دهد که اغلب در آثار قبلی وجود نداشته است. مطالعات متعدد قبلی، پایداری اجتماعی را به نفع تمرکز بر جنبه‌های خاص پایداری، مانند مسائل زیست‌محیطی یا اقتصادی، نادیده گرفته‌اند (Bao et al., 2023). از سوی دیگر، مطالعه حاضر، این شکاف را با بررسی هم‌زمان ارکان اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پایداری در یک دوره وسیع‌تر (۲۰۰۰-۲۰۲۴) پر می‌کند. علاوه بر این، این مطالعه با ترکیب تکنیک‌های کتاب‌سنجی با ابزارهای تجسم، از جمله هم‌رخدادی، هم‌نویسندگی و نگاشت استناد از طریق VOS viewer، الگوهای گسترده و پیوندهای پنهان در داده‌ها را آشکار می‌کند. این رویکرد چندبعدی، عمق و غنای بیشتری به یافته‌ها می‌بخشد. در اصل، در حالی که مطالعات قبلی هر کدام بخش‌هایی از چشم‌انداز تحقیقاتی حمل و نقل پایدار را روشن می‌کردند، این مطالعه دیدگاهی جامع‌تر و به‌روزتر ارائه می‌دهد. نتایج این پژوهش پاسخی شفاف، مستند و داده‌محور به پرسش اصلی تحقیق ارائه می‌دهد؛ یعنی شناسایی روندهای غالب و نوظهور در پژوهش‌های حوزه حمل‌ونقل پایدار.

۲.۶. تحول زمانی و تغییر پارادایم در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار

در طول ۲۵ سال گذشته، پژوهش در این زمینه تحول پیوسته‌ای را تجربه کرده است؛ به‌گونه‌ای که از تمرکز بر مسائل بنیادینی مانند کنترل آلودگی و سیاست‌گذاری کلان حمل‌ونقل به‌سمت ادغام فناوری‌های پیشرفته و ملاحظات اجتماعی حرکت کرده است (Hosseinian et al., 2024). برای نمونه، در حالی‌که پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر روش‌های برنامه‌ریزی، کاهش انتشار کربن، و مصرف کمتر سوخت‌های فسیلی متمرکز بودند، در سال‌های اخیر محورهایی همچون شهرهای هوشمند، خودروهای برقی و خودران، و تاب‌آوری سیستم‌های حمل‌ونقل به‌طور چشمگیری رشد یافته‌اند. این تغییرات نشان می‌دهد که این حوزه از مرحله‌ای تک‌بعدی عبور کرده و اکنون نگاهی جامع، نظام‌مند و چندرشته‌ای به مسئله پایداری در حمل‌ونقل دارد.مسیرهای نوظهور شناسایی‌شده در این مطالعه عبارت‌اند از:

- گذار به‌سوی برق‌رسانی و انرژی پاک، از خودروهای برقی تا سوخت‌های مبتنی بر هیدروژن.
- ادغام فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی در مدیریت حمل‌ونقل، از جمله شبیه‌سازی‌های پیشرفته و یادگیری ماشین.
- تمرکز فزاینده بر تحرک انسان‌محور، عدالت‌محور و سلامت‌محور، از جمله حمل‌ونقل فعال، پیاده‌پذیری و دسترسی برابر شهری.
- ظهور رویکردهای مبتنی بر تاب‌آوری در پاسخ به چالش‌های جهانی نظیر همه‌گیری‌ها و تغییر اقلیم.

مجموعه این تحولات، پاسخی مستدل و چندوجهی به پرسش تحقیق ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که این حوزه ضمن بنا نهادن بر مبانی پژوهش‌های گذشته، به‌سوی مرزهای نوین علمی و فناورانه در حال گسترش است.

۳.۶. تحلیل تغییرات پارادایمی و تأثیر آن‌ها بر پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار

حمل‌ونقل پایدار به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی توسعه پایدار، در دو دهه گذشته شاهد تحولات عمده‌ای در مفاهیم، رویکردها و سیاست‌های اجرایی بوده است. از زمانی که این حوزه برای نخستین بار به‌طور جدی مطرح شد، تمرکز اولیه آن بیشتر بر مسائل زیست‌محیطی و کاهش اثرات منفی حمل‌ونقل بر کره زمین بود. اما به مرور زمان، ابعاد اجتماعی و اقتصادی نیز به‌عنوان ارکان اصلی پایداری در حمل‌ونقل در نظر گرفته شد و این تغییرات پارادایمی موجب شده تا پژوهش‌های این حوزه به رویکردی جامع‌تر و میان‌رشته‌ای تبدیل شود.تحول از تمرکز صرف بر مسائل زیست‌محیطی به رویکردهای جامع‌تر که ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سلامت را در بر می‌گیرد، تغییر پارادایمی عمده‌ای در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار طی دو دهه گذشته بوده است. در ابتدا، پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار عمدتاً بر مسائل زیست‌محیطی مانند کاهش اثرات کربنی و پذیرش فناوری‌های سبز متمرکز بودند. اما به تدریج این دیدگاه تک‌بعدی تغییر کرد و ابعاد اجتماعی مانند عدالت دسترسی به حمل‌ونقل، بهبود سلامت عمومی و تاب‌آوری اقتصادی نیز در مرکز توجه قرار گرفتند. این تغییرات بیانگر این است که حمل‌ونقل پایدار دیگر تنها یک مسئله زیست‌محیطی نیست، بلکه به موضوعی میان‌رشته‌ای تبدیل شده است که ابعاد اجتماعی و اقتصادی را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد.یکی از جنبه‌های مهم این تغییر پارادایمی، ظهور شاخص‌های جدیدی برای ارزیابی پایداری حمل‌ونقل است که به‌طور جامع‌تری اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد. این رویکرد به‌ویژه در مطالعات اخیر درباره شهرهای هوشمند، تحرک اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل به‌عنوان سرویس (MaaS) تأکید شده است. پژوهش‌های اخیر به‌عنوان مثال (Grigoroudis et al., 2022). نشان می‌دهد که این مدل‌های یکپارچه در مقایسه با رویکردهای قدیمی، به‌طور مؤثرتری نیازهای اجتماعی و اهداف زیست‌محیطی را هم‌راستا می‌سازند.

۴.۶. تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر روندهای پژوهشی و تحولات حمل‌ونقل پایدار

همه‌گیری کووید-۱۹ تأثیرات قابل‌توجهی بر الگوهای جابجایی و تقاضای حمل‌ونقل در سطح جهانی داشته است. اقدامات فاصله‌گذاری اجتماعی و محدودیت‌های رفت‌وآمد منجر به کاهش چشمگیر سفرهای کاری و سفرهای طولانی‌مدت، به‌ویژه در مناطق شهری، شد. این تغییرات باعث شد که بسیاری از فعالیت‌ها به سمت کار از راه دور و استفاده از فناوری‌های دیجیتال پیش بروند که نیاز به حمل‌ونقل سنتی را کاهش داد (Li et al., 2023). پس از بحران، توجه به تاب‌آوری سیستم‌های حمل‌ونقل و ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند و مدیریت بلادرنگ ترافیک افزایش یافت. پژوهشگران به استفاده از هوش مصنوعی، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و مدل‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌های بلادرنگ به‌عنوان ابزارهایی برای مدیریت بحران‌ها و بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل در شرایط بحرانی توجه بیشتری کرده‌اند (Sohi et al., 2025). این تغییرات موجب اصلاح سیاست‌ها و راهکارهای جدید در طراحی و اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل شده است.

۵.۶. روندهای نوظهور، چالش‌های فناورانه و نابرابری در دسترسی

در آینده، چندین روند نوظهور می‌تواند پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار را شکل دهد. تحرک اشتراکی، برقی‌سازی حمل‌ونقل و گنجاندن چارچوب‌های شهرهای هوشمند از جمله مهم‌ترین حوزه‌های نوآورانه هستند. ادغام هوش مصنوعی و داده‌های بزرگ در طراحی و مدیریت حمل‌ونقل به‌ویژه در بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود کارایی سیستم‌ها، تغییرات عمده‌ای ایجاد خواهد کرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از داده‌های بزرگ برای تصمیم‌گیری لحظه‌ای و هوشمند در مدیریت حمل‌ونقل به‌ویژه در شهرهای بزرگ در حال رشد است (Liu et al., 2023).

با این حال، این تحولات فناوری‌محور چالش‌هایی به‌ویژه در زمینه دسترسی عادلانه به فناوری‌ها و زیرساخت‌ها ایجاد می‌کنند. در حالی که دیجیتالیزه کردن سیستم‌های حمل‌ونقل مزایای زیادی دارد، عدم دسترسی برخی گروه‌ها به فناوری‌های نوین می‌تواند نابرابری‌ها را تشدید کند. پژوهش‌های آینده باید بر این چالش‌ها تمرکز کنند و راهکارهایی برای توزیع عادلانه مزایای این تحولات ارائه دهند.

۶.۶. چالش‌های اجرایی در پیاده‌سازی سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار

اجرای سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار با چالش‌های فراوانی مواجه است. مشکلاتی مانند موانع بودجه‌ای، مقاومت سیاسی و کمبود همکاری‌های بین‌دستگاهی از جمله مشکلات اصلی در مسیر اجرای این سیاست‌ها هستند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که برای موفقیت در پیاده‌سازی این سیاست‌ها، لازم است که هماهنگی و همکاری‌های مؤثر میان دولت‌ها، بخش خصوصی و مؤسسات علمی تقویت شود (Sohi et al., 2025). علاوه بر این، پیاده‌سازی زیرساخت‌های ضروری مانند ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، سیستم‌های مدیریت ترافیک هوشمند و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی به زمان و منابع قابل توجهی نیاز دارد. پژوهشگران باید به‌طور مستمر به شناسایی و رفع این موانع در مقیاس‌های مختلف پرداخته و راهکارهای عملیاتی برای تسهیل این فرآیند ارائه دهند.

۷.۶. پوشش شکاف‌های پژوهشی: کاستی‌های پیشین و نحوه رفع آنها در این مطالعه

از طرفی مهم‌ترین کاستی‌ها، نبود ارزیابی جامع از کل بدنه مطالعات حوزه حمل‌ونقل پایدار بود؛ به‌گونه‌ای که پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر جنبه‌های محدود یا شاخه‌های خاصی از این حوزه تمرکز داشتند. این پژوهش با اتخاذ رویکردی فراگیر و چندبُعدی، این خلأ را پوشش داده و هم‌زمان به بررسی ابعاد مختلف این حوزه پرداخته است. برای نمونه، یکی از مشکلات مطرح‌شده در پژوهش‌های پیشین، نبود درک دقیق از تحول زمانی و کارکرد پژوهش‌های علمی در این حوزه بود (Asha’ari et al., 2024). در این راستا، در مطالعه حاضر، تحلیل طولی روند انتشارات در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ انجام شد تا تصویری روشن از روند تحول زمانی پژوهش‌ها به‌دست آید.

شکاف دیگر، کم‌توجهی به موضوعات نوین و میان‌رشته‌ای همچون فناوری‌های خودران و پیوند میان حمل‌ونقل و سلامت بود؛ حوزه‌هایی که در زمان انجام مطالعات اولیه هنوز در مراحل ابتدایی شکل‌گیری قرار داشتند. در این پژوهش با شناسایی و برجسته‌سازی این عرصه‌های نوظهور از جمله تأثیرات همه‌گیری کووید-۱۹ و کاربرد هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل توانسته است ادبیات موجود را غنا بخشد و جهت‌گیری‌های آینده پژوهش را ترسیم کند.

همچنین، این مطالعه با آشکار ساختن شکاف‌های جغرافیایی (یعنی مناطق و کشورهایی با مشارکت اندک در پژوهش‌های حمل‌ونقل پایدار) به‌طور غیرمستقیم به یکی دیگر از نواقص مهم موجود در ادبیات پاسخ داده است. پژوهش‌های پیشین عمدتاً توسط کشورهای توسعه‌یافته هدایت شده‌اند و همواره بر لزوم مشارکت بیشتر کشورهای درحال‌توسعه تأکید کرده‌اند. هرچند مطالعات علم‌سنجی به‌صورت مستقیم قادر به رفع این نابرابری‌ها نیستند، اما می‌توانند با نمایان ساختن کم‌نمایی علمی این مناطق، بر اهمیت سیاست‌های علمی در تقویت ظرفیت پژوهشی و تولید دانش در این کشورها تأکید کنند.

در مجموع، شکاف‌های شناسایی‌شده چه موضوعی، چه زمانی و چه جغرافیایی در این پژوهش یا به‌طور مستقیم پوشش داده شده‌اند یا به‌نحوی برجسته شده‌اند که مسیر را برای رفع آن‌ها در آینده هموار می‌سازد.

۸.۶. مقایسه با مطالعات علم‌سنجی پیشین: همسانی‌ها و نوآوری‌ها

یافته‌های این پژوهش با نتایج بسیاری از مطالعات علم‌سنجی اخیر در زمینه حمل‌ونقل پایدار همسو بوده و درعین‌حال دارای نوآوری‌های متمایزی است.

از نظر تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، خوشه‌های موضوعی شناسایی‌شده در این مطالعه، شباهت زیادی با یافته‌های مطالعات پیشین دارند. برای مثال، (Asha'ari et al., 2024) موضوعات پرتکراری نظیر برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، سیاست‌گذاری، تغییر اقلیم، خودروهای برقی و حمل‌ونقل عمومی را شناسایی کردند؛ که این موارد با خوشه‌های اصلی مطالعه حاضر شامل سیاست‌گذاری، فناوری‌های پاک و مسائل زیست‌محیطی هم‌راستا هستند. به‌طور مشابه (Bao et al., 2023) واژگانی چون تحرک اشتراکی (Shared Mobility)، شهر هوشمند (Smart City) و تحرک پایدار (Sustainable Mobility) را به‌عنوان کلیدواژه‌های روبه‌رشد در حوزه پایداری اجتماعی معرفی کردند؛ مفاهیمی که در تحلیل کنونی نیز به‌عنوان روندهای نوظهور مشاهده شدند.از نظر پوشش زمانی، این پژوهش نشان می‌دهد که از سال ۲۰۲۰ به بعد، توجه پژوهشی به موضوعاتی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ و خودروهای خودران به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و در مقابل، موضوعات کلاسیک‌تر با کاهش نسبی مواجه شده‌اند. این الگو با نتایج پژوهش (İnce, 2025) همخوان است که گزارش داد واژگانی چون سلامت عمومی (Public Health) و پیاده‌پذیری (Walkability) از حدود سال‌های ۲۰۲۰–۲۰۲۱ وارد ادبیات علمی شدند و از آن زمان به‌عنوان موضوعات نوظهور شهری مورد توجه قرار گرفته‌اند. این پژوهش همچنین تأیید کرد که «COVID-19» و «خودروهای خودران» هم‌اکنون از پرجنب‌وجوش‌ترین محورهای پژوهش در حمل‌ونقل شهری هستند، نتیجه‌ای که با یافته‌های این مطالعه کاملاً منطبق است.

در حوزه شبکه‌های هم‌تألیفی و همکاری‌های علمی بین‌المللی، نتایج پژوهش حاضر و مطالعات پیشین، هر دو بر غلبه تعداد معدودی کشور در تولید دانش حمل‌ونقل پایدار تأکید دارند. برای مثال، (Bao et al., 2023) کشورهای ایالات متحده، چین و بریتانیا را به‌عنوان بازیگران اصلی این حوزه معرفی کردند. یافته‌ای که با نتایج پژوهش (Judijanto et al., 2025) و همچنین تحلیل حاضر مطابقت دارد.

تحلیل استنادی نیز نتایج مشابهی به‌دست داده است؛ به‌طوری که هر دو نوع مطالعه مجموعه‌ای از منابع پراستناد و اثرگذار را شناسایی کرده‌اند که بنیان نظری این حوزه را شکل می‌دهند. به‌عنوان نمونه، پژوهش علم‌سنجی (Badasaa et al., 2020) نشان داد مقالات مرتبط با شاخص‌های پایداری و سیاست‌های حمل‌ونقل کم‌کربن بیشترین استناد را دریافت کرده‌اند. در همین راستا، تحلیل کنونی نیز مجموعه‌ای مشابه از آثار بنیادی را آشکار کرده است که هم شامل پژوهش‌های کلاسیک در رویکردهای حمل‌ونقل پایدار و هم نوآوری‌های فناورانه اخیر می‌شود.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش عمدتاً توسط مطالعات علم‌سنجی پس از سال ۲۰۲۰ تأیید می‌شوند و درعین‌حال، با برجسته‌سازی روندهای جدید و حوزه‌های کمترپژوهش‌شده همچون فناوری‌های نو، هوشمندسازی و موضوعات ناشی از بحران‌ها ارزش افزوده‌ای به بدنه علمی موجود می‌افزایند. این هم‌پوشانی، اعتبار و استحکام نتایج پژوهش حاضر را تقویت می‌کند و نشان می‌دهد که روش‌شناسی و یافته‌ها، همسو با گفتمان علمی جریان اصلی (Mainstream Discourse) بوده و در عین حال، به رفع شکاف‌های دانشی پیش‌تر نادیده‌مانده کمک می‌کنند.

۹.۶. چارچوب مفهومی مبتنی بر داده و اعتبارسنجی آن

مدل مفهومی ارائه شده در این پژوهش، بر مبنای تحلیل ساختاری و تلفیق جدیدی از نظریه‌ها و یافته‌های علوم شهری، با هدف ترسیم چگونگی تأثیر محرک‌های کلان و روابط درونی بر پیامدهای تحول شهری و بر مبنای تصویر مفهومی طراحی گردیده است.

محرک‌های کلان: در بالاترین سطح، مدل چهار محرک اصلی *تحولات جمعیتی*، *تغییرات اقلیمی*، *جهانی‌شدن و نوآوری فناوری* را به عنوان عوامل بیرونی و اثرگذار بر نظام شهری معرفی می‌کند. این محرک‌ها، به صورت مستقیم و غیرمستقیم، مسیر حکمرانی و سیاست‌گذاری شهری را شکل می‌دهند و شاخص‌های کیفیت محیط، عدالت اجتماعی و تاب‌آوری را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

حکمرانی و برنامه‌ریزی شهری: در لایه دوم، حکمرانی شهری نقش واسطه‌ای میان محرک‌های بیرونی و ارکان تحول شهری دارد. در این بخش، مدل نشان می‌دهد که کیفیت سیاست‌گذاری، تصمیم‌سازی، شیوه‌های مدیریتی و فرایندهای مشارکت شهروندی، می‌توانند شدت یا جهت اثر محرک‌های کلان را تنظیم نموده و به تحقق ابعاد اصلی تحول منجر شوند.

چهار ستون تحول شهری: نوآوری مدل پژوهش در معرفی و تبیین چهار ستون اساسی تحول شهری است که شامل:

عدالت اجتماعی و فضایی: این ستون بر تقویت دسترسی برابر، انسجام اجتماعی، کاهش تبعیض فضایی و ارتقاء کیفیت محیط زندگی شهروندان تأکید دارد.

سیاست‌گذاری و پویایی اقتصادی: بر بهبود بهره‌وری اقتصادی، اشتغال، عدالت اقتصادی و پایداری مالی شهرها محوریت دارد.

نوآوری فناورانه و شهر هوشمند: شامل پیاده‌سازی فناوری‌های نوین، استفاده از داده‌ها، زیرساخت‌های دیجیتال و ارتقا کارایی و خدمات شهری است.

تاب‌آوری اقلیمی و زیست‌محیطی: هدف این ستون حفاظت از محیط زیست، سازگاری با تغییرات اقلیمی، کاهش آسیب‌پذیری و پایداری شهری در مواجهه با مخاطرات طبیعی است.

هر ستون، بر اساس زیرمولفه‌های تخصصی و روابط دو سویه با سایر ارکان، در قالب یک شبکه تعاملات عرضی و عمودی تبیین شده است.

- پیامدهای میانی و نهایی

در بخش پایینی مدل، پیامدهای ناشی از تعاملات میان محرک‌ها، حکمرانی و چهار ستون تحول تشریح می‌شود.

پیامدهای میانی شامل:

- ارتقای تاب‌آوری شهری
- بهبود انسجام اجتماعی
- پویایی و رفاه اقتصادی

- افزایش امنیت
- ارتقای سلامت
- دسترسی بهتر

پیامد نهایی مدل، ارتقای کیفیت زندگی و رضایت شهروندان از محیط شهری است که به عنوان هدف غایی برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شود.

روابط علّی در مدل:

ارتباطات در مدل با فلش‌های جهت‌دار مشخص شده‌اند که نشان می‌دهند محرک‌های کلان ابتدا بر حکمرانی اثر گذاشته، سپس به واسطه حکمرانی و سیاست‌گذاری، ستون‌های چهارگانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هر ستون به صورت دوسویه با سایر ابعاد تعامل دارد و پیامدهای عملی و اجتماعی خود را ایجاد می‌کند.

انگیزه و نوآوری اصلی مدل در تلفیق نظری ابعاد مختلف تحول شهری در یک ساختار منسجم و قابلیت کاربردی آن در فرآیند تصمیم‌سازی است.

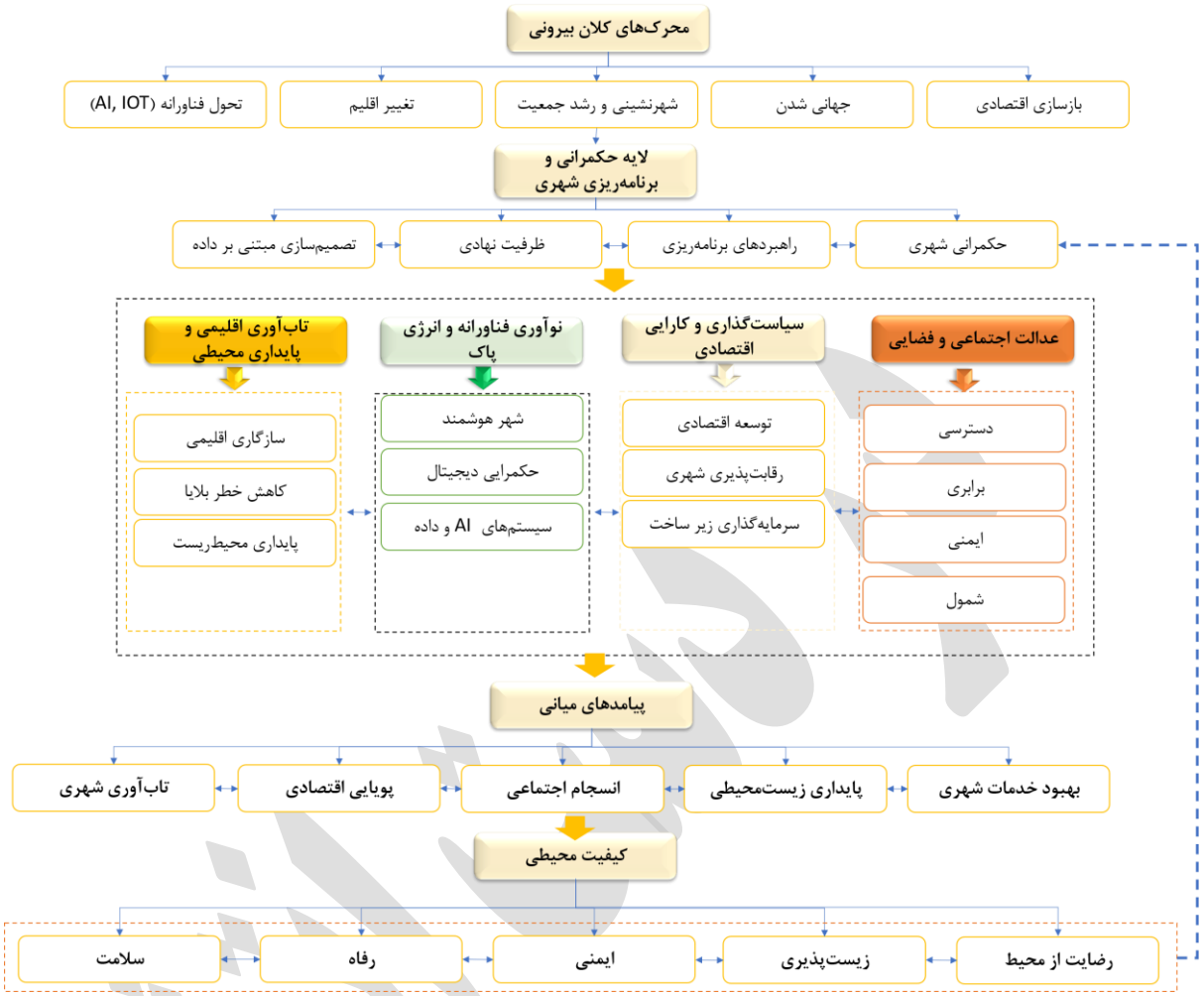
وجه نوآوری پژوهش:

این مدل برای نخستین بار، چهار ستون تحول را با رویکرد روابط متقابل و علّی، و پیوند مستقیم نظریه به کاربرد سیاستی، یکپارچه‌سازی کرده است؛

مزیت اصلی آن، امکان تحلیل همزمان پیامدهای مختلف شهری و ایجاد الگویی جهت ارزیابی سیاست‌های شهری مبتنی بر شواهد است.

مدل مفهومی پژوهش، نه تنها چارچوب نظری تحقیق، بلکه راهنمای تحلیلی برای تفسیر یافته‌ها، تدوین توصیه‌های راهبردی و سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد در حوزه برنامه‌ریزی شهری است.

امکان استفاده از مدل برای ارزیابی سناریوهای مختلف، شناسایی نقاط قوت و ضعف، و بهبود کیفیت زندگی شهروندان فراهم شده و قابلیت تطبیق با موارد مطالعاتی دیگر را نیز دارد.



شکل ۱۴: چارچوب مفهومی مبتنی بر داده های پژوهش

۷. نتیجه‌گیری

این پژوهش با به‌کارگیری یک رویکرد علم‌سنجی چندلایه، تحول ساختاری و روندهای نوظهور پژوهش در پایداری حمل‌ونقل را طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ ترسیم کرد. یافته‌های تحلیلی، ظهور این حوزه را از اواسط دهه‌ی ۲۰۱۰ به عنوان یک قلمرو علمی با رشد سریع و بلوغ مفهومی تأیید می‌کند، که متأثر از همگرایی سیاست‌های جهانی مقابله با تغییر اقلیم و الزامات برنامه‌ریزی شهری پایدار است. نتایج نشان می‌دهد که پس از دوره‌ای از رشد تدریجی و پراکنده در سال‌های آغازین، از اواسط دهه ۲۰۱۰ میلادی، این حوزه وارد مرحله‌ای از رشد سریع و بلوغ مفهومی شده است. ین مسیر تحول با سیاست‌های بین‌المللی مقابله با تغییر اقلیم، توسعه شهری پایدار و بازسازی زیرساخت‌های حمل‌ونقل هم‌راستا است.مطالعه حاضر با استفاده از سه تحلیل اصلی هم‌واژگانی (Co-word Analysis)، هم‌تألیفی (Co-authorship Analysis) و استنادی (Citation Analysis) تصویری جامع از نیروهای دانشی و همکاری‌های علمی مؤثر در شکل‌دهی به این حوزه ارائه می‌دهد. خوشه‌های مفهومی اصلی عبارت است از:

سیاست‌گذاری حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی شهری

نوآوری فناورانه با محوریت وسایل نقلیه پاک و بهره‌وری انرژی

مسائل زیست‌محیطی و اقلیمی با تمرکز بر کربن‌زدایی و تاب‌آوری اقلیمی

ابعاد اجتماعی شامل عدالت، دسترسی و رضایت کاربران.

این خوشه‌ها الگویی را ترسیم می‌کنند که ماهیت میان‌رشته‌ای پژوهش در حمل‌ونقل پایدار را بازتاب می‌دهد؛ جایی که ملاحظات زیست‌محیطی، فناورانه و انسان‌محور به‌صورت هم‌زمان درهم‌تنیده‌اند. تحلیل زمانی کلیدواژه‌ها نشان می‌دهد که از سال ۲۰۲۰ به بعد، مفاهیم جدیدی چون؛ شهر هوشمند (Smart City)، تحرک اشتراکی (Shared Mobility)، هوش مصنوعی در حمل‌ونقل (AI in Transport)، (Mobility-as-a-Service) و حمل‌ونقل سلامت‌محور (Health-Oriented Transport) به‌عنوان روندهای نوظهور علمی مطرح شده‌اند. در مقابل، مفاهیم سنتی‌تر مانند ؛ حمل‌ونقل مسافری (Passenger Transport) و پیاده‌روی با کاهش نسبی توجه پژوهشی مواجه بوده‌اند. این تغییر جهت نشان‌دهنده گذار از پارادایم‌های کلاسیک زیست‌محیطی–فناورانه به سوی چارچوب‌های داده‌محور، عدالت‌محور و سلامت‌محور است.از منظر جغرافیایی، نتایج تأیید می‌کند که کشورهای توسعه‌یافته همچنان بر تولید دانش و شبکه‌های همکاری بین‌المللی در این حوزه تسلط دارند.ایالات متحده، چین و چند کشور اروپایی در این زمینه نقش پیشتاز دارند؛در حالی‌که کشورهای جنوب جهان، به‌ویژه مناطق کم‌درآمد و درحال‌توسعه، همچنان نمایش کمتری در ادبیات علمی دارند.این نابرابری جغرافیایی در تولید و انتشار دانش نه‌تنها شمول علمی را محدود می‌کند،بلکه به‌طور غیرمستقیم کاربردپذیری یافته‌های پژوهشی در زمینه‌های اجتماعی–فضایی متنوع را نیز کاهش می‌دهد.تحلیل شبکه‌ای همچنین نشان می‌دهد که تعداد اندکی از دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی در شکل‌دهی به گفتمان علمی این حوزه نقش محوری دارند.با این حال، حضور روزافزون مؤسسات جدید از کشورهای آسیایی نشانه‌ای از تنوع فزاینده در اکوسیستم دانشی است.تحلیل استنادی نیز تأیید می‌کند که آثار علمی تأثیرگذار عمدتاً بر طراحی چارچوب‌های برنامه‌ریزی پایدار، اجرای سیاست‌های حمل‌ونقل کم‌کربن، و ظهور نوآوری‌های فناورانه تمرکز داشته‌اند.در عین حال، حوزه‌هایی چون تحلیل بلادرنگ، مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، ادغام سلامت و حمل‌ونقل و ارزیابی عدالت شهری به‌عنوان محورهای نوظهور اما کم‌بررسی‌شده شناسایی شدند که پتانسیل بالایی برای پژوهش‌های آینده دارند.

این مطالعه افزون بر ترسیم روندهای گذشته و حال، شکاف‌های مهمی در ادبیات موجود را نیز مشخص کرده است:

تمرکز ناکافی بر ابعاد اجتماعی و انسانی حمل‌ونقل پایدار (سلامت، جنسیت، مشارکت اجتماعی)

پوشش جغرافیایی محدود، به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد و مناطق روستایی

ضعف در یکپارچگی نظری میان پژوهش‌های رفتاری، فناورانه و سیاست‌محور

کمبود پژوهش‌های میان‌رشته‌ای که کلان‌داده، یادگیری ماشین و شاخص‌های سلامت را در مدل‌سازی حمل‌ونقل ترکیب کنند. این پژوهش با اتخاذ رویکرد علم‌سنجی چندلایه و ۲۵ ساله، و با پرداختن هم‌زمان به سه بُنیاد پایداری - زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دستاوردهایی نوآورانه ارائه کرده است که کمتر در مطالعات پیشین دیده می‌شود. در پاسخ به پرسش‌های تحقیق،

یافته‌ها نشان می‌دهند که: از سال ۲۰۱۵ به بعد، روند رشد و پویایی همکاری‌های علمی در حوزه حمل‌ونقل پایدار به طور چشمگیری تقویت شده، هرچند نابرابری‌های منطقه‌ای همچنان پابرجاست.

یافته‌ها لزوم بازتعریف اولویت‌های سیاست‌گذاری را در دو محور اصلی برجسته می‌سازند:

۱. اولویت‌دهی به ابعاد عدالت و سلامت: تصمیم‌گیران باید از طریق سرمایه‌گذاری هدفمند در پژوهش‌های رفتاری و اجتماعی، طراحی سیاست‌هایی را تسهیل کنند که عدالت شهری، دسترسی و ملاحظات سلامت عمومی را به صورت یکپارچه در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل لحاظ کنند.

۲. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌ای: جهت بهره‌برداری مؤثر از روندهای نوظهور (هوش مصنوعی و MaaS)، تخصیص منابع برای توسعه زیرساخت‌های تحلیل بلادرنگ و مدل‌های داده‌محور اجتناب‌ناپذیر است.

تحلیل‌های علم‌سنجی و هم‌واژگانی توانسته‌اند پیشرفت‌های مفهومی و مسیرهای نوظهور پژوهش را به‌روشنی ترسیم کنند و راهنمایی راهبردی برای پژوهش‌های آینده فراهم سازند. یافته‌های این پژوهش چارچوبی جامع و چندبعدی برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری فراهم می‌کند. این مطالعه ضمن تبیین ستون‌های موضوعی، روندهای نوظهور و کاستی‌های ساختاری، یک چارچوب مبتنی بر شواهد ارائه می‌دهد که می‌تواند به بازتعریف اولویت‌های پژوهشی آینده، توسعه نظام‌های تحرک هوشمند و فراگیر، طراحی سیاست‌های حمل‌ونقل تاب‌آور و عدالت‌محور در برابر تغییرات اقلیمی منجر شود. در نهایت، حوزه حمل‌ونقل پایدار در حال ورود به مرحله‌ای جدید از پیچیدگی و همگرایی میان‌رشته‌ای است. مرحله‌ای که نیازمند تمرکز بر انسجام مفهومی، دموکراتیک‌سازی دانش و نوآوری میان‌رشته‌ای است.

با توجه به روندهای نوظهور و تحولات اساسی در حوزه حمل‌ونقل پایدار که در این مطالعه بررسی شد، می‌توان شواهد علمی موجود را به‌طور مؤثر برای طراحی سیاست‌های مؤثر و عملیاتی در سطوح مختلف حکمرانی به کار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده گسترش سریع و بلوغ مفهومی این حوزه در سال‌های اخیر است، به‌ویژه در زمینه‌هایی چون تحرک دیجیتال، عدالت اجتماعی، فناوری‌های نوین و تغییرات اقلیمی. با این حال، همچنان چالش‌هایی نظیر پراکندگی جغرافیایی، شکاف‌های پژوهشی در ابعاد اجتماعی و انسانی و نیاز به یکپارچگی بیشتر بین شاخص‌های مختلف پایداری وجود دارد. از این رو، برای مقابله با این چالش‌ها و جهت‌دهی به پژوهش‌های آینده، نیاز به رویکردهایی جامع و منسجم در سیاست‌گذاری حمل‌ونقل پایدار احساس می‌شود.بر اساس این یافته‌ها، این مطالعه چندین توصیه سیاستی مبتنی بر داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل‌های علم‌سنجی و هم‌واژگانی ارائه می‌دهد که می‌تواند به بهبود همکاری‌های بین‌المللی، توسعه زیرساخت‌های پایدار و هوش مصنوعی، و تقویت عدالت اجتماعی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری منجر شود. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که حوزه حمل‌ونقل پایدار در سال‌های اخیر از یک رویکرد صرفاً زیست‌محیطی به سمت چارچوبی چندبعدی، داده‌محور و انسان‌محور حرکت کرده است. تحلیل روندهای علم‌سنجی حاکی از آن است که مفاهیمی همچون دیجیتالی‌سازی، هوش مصنوعی، عدالت اجتماعی، سلامت عمومی، انرژی‌های پاک و تاب‌آوری سیستم‌ها به کانون‌های نوظهور پژوهش تبدیل شده‌اند.

بر این اساس، چند دلالت کلیدی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی آینده قابل استخراج است:

الف : تقویت رویکردهای داده‌محور و بهره‌گیری از فناوری‌های هوش مصنوعی باید به عنوان یکی از ارکان اصلی سیاست‌گذاری حمل‌ونقل در نظر گرفته شود. توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی‌گر می‌تواند به بهینه‌سازی حمل‌ونقل عمومی، مدیریت هوشمند ترافیک و پیش‌بینی تقاضای سفر منجر شود. در این چارچوب، ادغام سیستم‌های (Mobility-as-a-Service (MaaS)) در سیاست‌های شهری می‌تواند به افزایش دسترسی، یکپارچگی خدمات و ارتقای بهره‌وری شبکه‌های حمل‌ونقل کمک کند.

ب: برجسته‌شدن مفاهیم عدالت اجتماعی و سلامت در خوشه‌های دانشی اخیر نشان می‌دهد که سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار باید فراتر از کاهش انتشار کربن، به ابعاد اجتماعی و توزیعی نیز توجه کنند. طراحی نظام‌های حمل‌ونقل عادلانه، به‌ویژه در مناطق کم‌برخوردار و روستایی، و همچنین توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل فعال نظیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، می‌تواند به ارتقای کیفیت زندگی و کاهش نابرابری‌های فضایی منجر شود.

پ: همگرایی فزاینده میان پژوهش‌های مرتبط با انرژی‌های پاک و حمل‌ونقل نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های برقی، سوخت‌های جایگزین و فناوری‌های کم‌کربن باید در اولویت برنامه‌های توسعه قرار گیرد. گسترش شبکه‌های شارژ خودروهای الکتریکی و حمایت از نوآوری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، نه‌تنها در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر است، بلکه زمینه‌ساز گذار به نظام‌های جابه‌جایی پایدار و مقرون‌به‌صرفه خواهد بود.

ت: نتایج تحلیل همکاری‌های علمی بیانگر افزایش تعاملات بین‌المللی و میان‌رشته‌ای در این حوزه است. این روند نشان می‌دهد که حل چالش‌های پیچیده حمل‌ونقل پایدار نیازمند هم‌افزایی دانش مهندسی، علوم اجتماعی، برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری عمومی است. تقویت شبکه‌های تحقیقاتی مشترک، به‌ویژه با مشارکت کشورهای در حال توسعه، می‌تواند به انتقال دانش، بومی‌سازی راهکارها و تسریع تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کند.

در نهایت، برجسته‌شدن مفهوم تاب‌آوری در سال‌های اخیر، به‌ویژه پس از بحران‌های جهانی، نشان می‌دهد که آینده حمل‌ونقل پایدار در گرو طراحی سیستم‌های هوشمند و انعطاف‌پذیر است. بهره‌گیری از سامانه‌های تحلیلی بلادرنگ و فناوری‌های هوشمند می‌تواند توان پاسخ‌گویی شبکه‌های حمل‌ونقل به بحران‌هایی نظیر همه‌گیری‌ها، بلایای طبیعی و تغییرات اقلیمی را افزایش دهد و پایداری عملکرد آن‌ها را در شرایط عدم قطعیت تضمین کند. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آینده حمل‌ونقل پایدار در پیوند میان دیجیتالی‌سازی، عدالت اجتماعی، گذار انرژی و تاب‌آوری سیستم‌ها شکل خواهد گرفت؛ پیوندی که مستلزم رویکردی یکپارچه، داده‌محور و چندسطحی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (۲۵ درصد)، نویسنده دوم (۲۵ درصد)، نویسنده سوم (۲۵ درصد)، نویسنده چهارم (۲۵ درصد).

تشکر و قدردانی

هیچ حمایت مالی وجود ندارد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ تضاد منافع را اعلام نکردند.

منابع

Agyei, V., Adom-Asamoah, G., & Poku-Boansi, M. (2024). Sustainable transportation in Africa: A bibliometric, visualisation and thematic analysis. Journal of Cleaner Production, 462, 142727. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142727

Amorim, J. d. M., de Abreu e Silva, J., & Gonçalves, J. M. (2025). Equity and Spatial Justice Perspectives in Transportation. Urban Science, 9(5), 163. https://doi.org/10.3390/urbansci9050163

Anderson, M. D. (2008). Rights-based food systems and the goals of food systems reform. *Agriculture and human values*, *25*(4), 593-608. https://doi.org/10.1007/s10460-008-9151-z

Antunes, J., Tan, Y., Wanke, P., & Jabbour, C. J. C. (2023). Impact of R&D and innovation in Chinese road transportation sustainability performance: A novel trigonometric envelopment analysis for ideal solutions (TEA-IS). *Socio-Economic Planning Sciences*, *87*, 101544. https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101544

Araghi, F. M., Rabinwoitz, A., Ang, C. C., Sharma, S., Kadav, P., Meyer, R. T., ... & Asher, Z. D. (2023). Identifying and assessing research gaps for energy efficient control of electrified autonomous vehicle Eco-Driving. *Machine Learning and Optimization Techniques for Automotive Cyber-Physical Systems*, 759-786. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28016-0_27

Asha'ari, M. J., Daud, S., Kasavan, S., Wan Abdullah, W. M. T., Mustapa, S. I., Rajadurai, J., ... & Mohamed Ali, M. A. B. (2024). Global Research Trend of Sustainable Transport in Response to Energy Efficiency: A Bibliometric Analysis. *SAGE Open*, *14*(4), 21582440241275815. https://doi.org/10.1177/21582440241275815

Badassa, B. B., Sun, B., & Qiao, L. (2020). Sustainable transport infrastructure and economic returns: A bibliometric and visualization analysis. *Sustainability*, *12*(5), 2033. https://doi.org/10.3390/su12052033

Bao, L., Kusadokoro, M., Chitose, A., & Chen, C. (2023). Development of socially sustainable transport research: A bibliometric and visualization analysis. *Travel behaviour and society*, *30*, 60-73. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.08.012

Castanho, R. A., Behradfar, A., Vulevic, A., & Naranjo Gómez, J. M. (2020). Analyzing transportation sustainability in the Canary Islands Archipelago. *Infrastructures*, *5*(7), 58. https://doi.org/10.3390/infrastructures5070058

Castanho, R. A., Luis, J. Á. H., Pimentel, P., & Couto, G. (2024). The territorial cohesion through interisland transport: an in-depth analysis of the azores autonomous region. *Land*, *13*(6), 779. https://doi.org/10.3390/infrastructures601001

Chen, Y., Li, C., Wang, W., Zhang, Y., Chen, X. M., & Gao, Z. (2025). The landscape, trends, challenges, and opportunities of sustainable mobility and transport. npj Sustainable Mobility and Transport, 2(1), 8. https://doi.org/10.1038/s44333-025-00026-8

Cottrill, C. D., & Derrible, S. (2015). Leveraging big data for the development of transport sustainability indicators. *Journal of Urban Technology*, *22*(1), 45-64. https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942094

Du, Q., Lu, C., Zou, P. X., Li, Y., Li, J., & Cui, X. (2021). Estimating transportation carbon efficiency (TCE) across the belt and road initiative countries: An integrated approach of modified three-stage epsilon-based measurement model. *Environmental Impact Assessment Review*, *90*, 106634. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106634

Egilmez, G., & Tatari, O. (2012). A dynamic modeling approach to highway sustainability: Strategies to reduce overall impact. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *46*(7), 1086-1096. https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.04.011

Erdem, P., Akyuz, E., Aydin, M., Celik, E., & Arslan, O. (2024). Assessment of human error contribution to container loss risk under fault tree analysis and interval type-2 fuzzy logic-based SLIM approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 238(3), 553-566. https://doi.org/10.1177/14750902231203074

Grigoroudis, E., Kouikoglou, V. S., & Phillis, Y. A. (2022). Transportation Sustainability and Relevant Ranking of European Countries. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, *106*(2), 49. https://doi.org/10.1007/s10846-022-01736-8

Haghshenas, H., & Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological indicators*, *15*(1), 115-121. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.010

Heidari, M., Hosseini-Motlagh, S. M., & Nikoo, N. (2020). A subway planning bi-objective multi-period optimization model integrating timetabling and vehicle scheduling: A case study of Tehran. *Transportation*, *47*(1), 417-443. https://doi.org/10.1007/s11116-018-9895-2

Hosseinian, S. M., Mirzahossein, H., & Guzik, R. (2024). Sustainable integration of autonomous vehicles into road networks: ecological and passenger comfort considerations. *Sustainability*, *16*(14), 6239. https://doi.org/10.3390/su16146239

İnce, E. C. (2025). Mapping the path to sustainable urban mobility: a bibliometric analysis of global trends and innovations in transportation research. *Sustainability*, *17*(4), 1480. https://doi.org/10.3390/su17041480

Jiang, Z., Yu, D., Luan, S., Zhou, H., & Meng, F. (2022). Integrating traffic signal optimization with vehicle microscopic control to reduce energy consumption in a connected and automated vehicles environment. *Journal of Cleaner Production, 371*, 133694. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133694

Judijanto, L., Bunyamin, I., & Arini, R. (2025). A bibliometric analysis of transportation sector transformation through green policies. *West Science Social and Humanities Studies, 3*(2), 245–257. https://doi.org/10.58812/wsshs.v3i02.1687

Karjalainen, L. E., & Juhola, S. (2019). Framework for assessing public transportation sustainability in planning and policy-making. *Sustainability*, *11*(4), 1028. https://doi.org/10.3390/su11041028

Lai, S., Zhang, W., & Liu, H. (2023). A preference-aware meta-optimization framework for personalized vehicle energy consumption estimation. *arXiv preprint arXiv:2306.14421*. https://doi.org/10.1145/3580305.3599767

Li, H., Hao, Y., Xie, C., Han, Y., & Wang, Z. R. (2023). Emerging technologies and policies for carbon–neutral transportation. *International Journal of Transportation Science and Technology*, *12*(1), 329-334. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.09.002

Liu, J., Wu, C., Jian, S., Dixit, V., & Rashidi, T. H. (2023). Understanding the impact of occasional activities on travelers' preferences for mobility-as-a-service: A stated preference study. *Travel behaviour and society*, *33*, 100604. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100604

Mahajan, K., Large, D. R., Burnett, G., & Velaga, N. R. (2021). Exploring the benefits of conversing with a digital voice assistant during automated driving: A parametric duration model of takeover time. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *80*, 104-126. https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.03.012

Mihanović, V. (2024). Carbon footprint in choosing the best sustainable mode of intercity passenger transport. Journal of infrastructure, policy and development, 8(9), 7130-7137. https://doi.org/10.24294/jipd.v8i9.7130

Mihyeon Jeon, C., & Amekudzi, A. (2005). Addressing sustainability in transportation systems: definitions, indicators, and metrics. *Journal of infrastructure systems*, *11*(1), 31-50. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:1(31)

Miller, P., de Barros, A. G., Kattan, L., & Wirasinghe, S. C. (2016). Analyzing the sustainability performance of public transit. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *44*, 177-198. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.012

Naranjo Gómez, J. M., Castanho, R. A., & Vulevic, A. (2022). Analyzing transportation logistics and infrastructure sustainability in the Iberian Peninsula: The case of Portugal mainland. *European Planning Studies*, *30*(12), 2514-2536. https://doi.org/10.1080/09654313.2021.2014789

Onat, N. C., Kucukvar, M., Tatari, O., & Egilmez, G. (2016). Integration of system dynamics approach toward deepening and broadening the life cycle sustainability assessment framework: a case for electric vehicles. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(7), 1009-1034. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1070-4

Ren, R., Hu, W., Dong, J., Sun, B., Chen, Y., & Chen, Z. (2020). A systematic literature review of green and sustainable logistics: Bibliometric analysis, research trend and knowledge taxonomy. *International journal of environmental research and public health*, *17*(1), 261. https://doi.org/10.3390/ijerph17010261

Rezaei, A., Cao, M., Liu, Q., & De Vos, J. (2023). Synthesising the existing literature on the market acceptance of autonomous vehicles and the external underlying factors. *Journal of Advanced Transportation*, *2023*(1), 6065060. https://doi.org/10.1155/2023/6065060

Roman, M. (2022). Sustainable transport: a state-of-the-art literature review. *Energies*, *15*(23), 8997. https://doi.org/10.3390/en15238997

Sohi, M., Loa, P., Ozbilen, B., Iogansen, X., Lee, Y., & Circella, G. (2025). Examining Complex Impacts of E-shopping and Built Environment Factors on Shopping VMT. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *139*, 104567. https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104567

Sun, B., Hu, L., Zhang, Q., Zou, C., Wei, N., Jia, Z., & Mao, H. (2024). Impacts of traffic-signal-based speed guidance system across different application stages on traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 136*, 104484. https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104484

Szpilko, D., Budna, K., Drmeyan, H., & Remiszewska, A. (2023). Sustainable and smart mobility–research directions. A systematic literature review. *Economics and Environment*. http://dx.doi.org/10.34659/eis.2023.86.3.584

Tetteh, F. K., Owusu Kwateng, K., & Mensah, J. (2024). Transport sustainability–a bibliometric, systematic methodological review and future research opportunities. *Smart and Resilient Transportation*. https://doi.org/10.1108/SRT-09-2024-0013

Vulevic, A., Castanho, R. A., Naranjo Gomez, J. M., Loures, L., Cabezas, J., Fernandez-Pozo, L., & Martin Gallardo, J. (2020). Accessibility dynamics and regional cross-border cooperation (CBC) perspectives in the Portuguese—Spanish borderland. *Sustainability*, *12*(5), 1978. https://doi.org/10.3390/su12051978

Wey, W. M., & Huang, J. Y. (2018). Urban sustainable transportation planning strategies for livable City's quality of life. *Habitat International*, *82*, 9-27. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2018.10.002

Zheng, J., Garrick, N. W., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., & Marshall, W. (2013). Guidelines on developing performance metrics for evaluating transportation sustainability. *Research in Transportation Business & Management*, *7*, 4-13. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2013.02.001

Zu, D., Cao, K., & Xu, J. (2021). The impacts of transportation sustainability on higher education in China. *Sustainability*, *13*(22), 12579. https://doi.org/10.3390/su132212579