

واکاوی تحولات موضوعی و گذارهای معرفت‌شناختی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی

شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵): تحلیل علم‌سنجی و تفسیری

*^۱عطیه عسگری، ^۲مهدی میرزاجانی، ^۳آناهیتا زالی بیگی

*^۱استادیار، گروه شهرسازی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول: a_asgari@iau.ac.ir)

^۲ پژوهشگر دکترای شهرسازی، گروه شهرسازی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵-۰۳-۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵-۰۶-۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵-۰۶-۲۳

چکیده

گسترش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند، فراتر از توسعه ابزارهای تحلیلی، با تغییر در تولید دانش، تعریف مسائل شهری و پشتیبانی از تصمیم‌سازی همراه است. با وجود رشد سریع پژوهش‌ها، رابطه میان تحولات موضوعی و تغییر در منطق تولید دانش شهری هنوز به صورت نظام‌مند بررسی نشده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تحولات موضوعی و گذارهای معرفت‌شناختی این ادبیات طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. نوآوری پژوهش در تلفیق تحلیل علم‌سنجی با تفسیر معرفت‌شناختی برای تبیین بازآرایی ساختار دانش این حوزه است. داده‌ها از Web of Science و Scopus استخراج و پس از غربالگری بر اساس چارچوب PRISMA ۲۰۲۰، تعداد ۳۵۷۸ مقاله انتخاب شد. با رویکرد علم‌سنجی-تفسیری، طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده، تحلیل روندهای زمانی، شاخص رشد نسبی هموارشده (RGI)، تحلیل پارادایم‌های معرفت‌شناختی، همکاری علمی و توزیع جغرافیایی تولید دانش بررسی شد. نتایج نشان داد محیط زیست و پایداری شهری با سهم ۳۱.۹ درصد بزرگ‌ترین حوزه موضوعی و پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه با سهم ۷۷.۷ درصد رویکرد غالب تولید دانش است، در حالی که رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی زایشی در حال گسترش‌اند. همچنین، تولید دانش ماهیتی میان‌رشته‌ای دارد، اما از نظر جغرافیایی همچنان متمرکز است. در مجموع، یافته‌ها بیانگر بازآرایی درون‌حوزه‌ای در ادبیات هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری و حرکت تدریجی هوش مصنوعی از مجموعه‌ای از ابزارهای تحلیلی به بخشی از زیرساخت تولید دانش و پشتیبانی از تصمیم‌سازی شهری است.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی شهری؛ تحلیل علم‌سنجی؛ شهر هوشمند؛ طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده؛ گذار معرفت‌شناختی؛ هوش

مصنوعی شهری؛ یادگیری ماشین.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، برنامه‌ریزی شهری از حوزه‌ای مبتنی بر منطق‌های ایستا، سلسله‌مراتبی و عقلانیت فنی، به عرصه‌ای پیچیده، داده‌محور و شبکه‌ای تبدیل شده است؛ عرصه‌ای که در آن فرایندهای تصمیم‌سازی شهری بیش از هر زمان دیگری تحت تأثیر فناوری‌های دیجیتال، جریان‌های کلان‌داده و الگوریتم‌های محاسباتی قرار گرفته‌اند. در سنت کلاسیک برنامه‌ریزی، شهر عمدتاً به‌مثابه سیستمی قابل پیش‌بینی و قابل کنترل تلقی می‌شد که می‌توان آن را از طریق مدل‌های عقلانی-جامع، تحلیل‌های خطی و برنامه‌ریزی متمرکز مدیریت کرد (Faludi, ۱۹۷۳; Hall, ۲۰۱۴). با این حال، آشکار شدن ناتوانی این رویکردها در مواجهه با پیچیدگی‌های غیرخطی، نااطمینانی‌های چندلایه و پویایی‌های اجتماعی-فضایی شهرهای معاصر، زمینه ظهور پارادایم‌های ارتباطی، مشارکتی و انتقادی در برنامه‌ریزی شهری را فراهم ساخت؛ پارادایم‌هایی که بر نقش گفتمان، دانش مشارکتی، قدرت و تجربه زیسته در تولید فضا تأکید داشتند (Booher, ۲۰۱۰ & Healey, ۱۹۹۷; Innes).

با ورود به قرن بیست‌ویکم، گسترش اینترنت اشیا، حسگرهای شهری، داده‌های مکانی عظیم و زیرساخت‌های محاسباتی، زمینه شکل‌گیری پارادایم «شهر هوشمند» و «برنامه‌ریزی داده‌محور» را فراهم ساخت؛ پارادایمی که در آن داده‌ها به یکی از اصلی‌ترین منابع تولید دانش شهری تبدیل شدند (Batty, ۲۰۱۳; Kitchin, ۲۰۱۴). در این میان، نفوذ روزافزون هوش مصنوعی و یادگیری ماشین صرفاً به معنای توسعه ابزارهای پیشرفته تحلیل شهری نیست، بلکه نشانه ظهور نوعی تحول معرفت‌شناختی در شیوه فهم، تبیین و حکمرانی شهرها است. این تحول را می‌توان گذار از منطق‌های کلاسیک برنامه‌ریزی به نوعی «عقلانیت الگوریتمی» دانست؛ وضعیتی که در آن منطق تصمیم‌سازی شهری به‌تدریج از مدل‌های نظری مبتنی بر فرضیات علی و استدلال‌های هنجاری، به سمت استنتاج‌های داده‌محور، کشف الگوهای پنهان و پیش‌بینی‌های محاسباتی حرکت کرده است (Kitchin, ۲۰۱۷; Batty, ۲۰۲۴).

بتی (۲۰۲۶) این تحول را به‌مثابه گذار از مدل‌های قیاسی و نظری به مدل‌های استقرایی و داده‌محور در برنامه‌ریزی شهری توصیف می‌کند؛ گذاری که در آن تولید و اعتبارسنجی دانش شهری بیش از پیش از طریق یادگیری ماشینی، شبکه‌های عصبی و تحلیل الگوهای پیچیده در کلان‌داده‌ها صورت می‌گیرد. در این منطق نوظهور، دانش شهری بیش از آنکه بر چارچوب‌های نظری از پیش تعریف‌شده متکی باشد، از طریق پردازش کلان‌داده‌ها، تحلیل همبستگی‌های پنهان و استنتاج الگوریتمی تولید می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری ماشین، مدل‌های پیش‌بینی‌کننده و شبکه‌های عصبی عمیق اکنون در طیف گسترده‌ای از حوزه‌های برنامه‌ریزی شهری، از حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت ترافیک تا تحلیل رفتار شهروندان، مدل‌سازی توسعه شهری، ارزیابی تاب‌آوری و حکمرانی فضایی، نقش محوری یافته‌اند (Yigitcanlar et al., ۲۰۲۰; Bibri, ۲۰۲۱). همزمان، بر اساس تفاسیر نظری ادبیات انتقادی، این تحول، ساختار قدرت دانشی در شهر را نیز دگرگون کرده است؛ به‌گونه‌ای که تصمیم‌سازی شهری به‌طور فزاینده‌ای به زیرساخت‌های

محاسباتی، پلتفرم‌های داده‌ای و الگوریتم‌های غیرشفاف وابسته شده و مرز میان «تخصص انسانی» و «عاملیت الگوریتمی» بیش از پیش مبهم شده است. (Leszczynski, ۲۰۲۰)

این روند در سال‌های اخیر، به‌ویژه در بازه ۲۰۲۴-۲۰۲۵، هم‌زمان با ظهور نسل جدیدی از فناوری‌های پیشرو وارد مرحله‌ای پیچیده‌تر شده است. ظهور هوش مصنوعی مولد/زایشی، مدل‌های زبانی بزرگ، مدل‌های چندوجهی و دوقلوهای دیجیتال شهری، صرفاً ظرفیت تحلیل داده‌های شهری را افزایش نداده، بلکه امکان تولید سناریوهای توسعه شهری، شبیه‌سازی آینده شهر و پیشنهاد سیاست‌های برنامه‌ریزی را نیز فراهم ساخته است (Cugurullo et al., ۲۰۲۴; Yigitcanlar et al., ۲۰۲۴). در این چارچوب، نقش هوش مصنوعی از یک ابزار تحلیلی و پشتیبان تصمیم‌گیری به یک «عامل مولد» در فرایند برنامه‌ریزی، طراحی و حکمرانی شهری تغییر یافته است. چنین تحولی، پرسش‌های بنیادینی درباره مشروعیت تصمیمات الگوریتمی، عدالت فضایی، سوگیری داده‌ای، شفافیت الگوریتمی و حاکمیت داده در شهرهای هوشمند معاصر مطرح کرده است (Acuto et al., ۲۰۲۳; OECD, ۲۰۲۴).

این وضعیت، هم‌زمان با گسترش مفهوم «شهر الگوریتمی»، موجب شکل‌گیری نوعی چرخش انتقادی در ادبیات هوش مصنوعی شهری شده است. در این چارچوب، هوش مصنوعی شهری را می‌توان مرحله‌ای فراتر از پارادایم کلاسیک شهر هوشمند دانست؛ مرحله‌ای که در آن الگوریتم‌ها نه تنها داده‌های شهری را تحلیل می‌کنند، بلکه به بازیگران فعال در تولید دانش، سیاست‌گذاری و حکمرانی شهری تبدیل می‌شوند. از این‌رو، تمرکز ادبیات جدید صرفاً بر کارایی فنی الگوریتم‌ها نیست، بلکه بر پیامدهای اجتماعی، اخلاقی و فضایی آن‌ها نیز تأکید دارد (Kitchin, ۲۰۱۶; Leszczynski, ۲۰۲۰). در این چارچوب، مفاهیمی نظیر هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، هوش مصنوعی مسئولانه، حکمرانی الگوریتمی، عدالت داده‌ای و سوگیری الگوریتمی فضایی به تدریج به کانون ادبیات مطالعات شهری و شهر هوشمند وارد شده‌اند.

با وجود این تحولات، بخش عمده مطالعات علم‌سنجی موجود در حوزه هوش مصنوعی شهری همچنان عمدتاً در سطح تحلیل‌های توصیفی و کمی باقی مانده‌اند. این پژوهش‌ها اغلب بر تحلیل هم‌نویسندگی، هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها یا شبکه‌های استنادی تمرکز داشته و کمتر به دلالت‌های معرفت‌شناختی و انتقادی این تحولات پرداخته‌اند (Chen, ۲۰۱۷; Donthu et al., ۲۰۲۱). به بیان دیگر، اگرچه ساختارهای دانشی حوزه هوش مصنوعی شهری به سرعت در حال تحول‌اند، اما هنوز چارچوبی تحلیلی برای فهم این مسئله که «این تغییرات کتاب‌سنجی دقیقاً بازتاب چه تحولاتی در منطق تولید دانش شهری هستند» به‌طور کافی توسعه نیافته است. علاوه بر این، بسیاری از مطالعات موجود همچنان تحت سلطه رویکردهای تکنوکراتیک بوده و کمتر به پیوند میان الگوریتم‌ها، قدرت، نابرابری فضایی و سیاست‌گذاری شهری توجه کرده‌اند.

بر این اساس، پژوهش حاضر صرفاً در پی ترسیم نقشه‌های دانشی یا خوشه‌های موضوعی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند نیست، بلکه تلاش می‌کند از طریق تلفیق تحلیل علم‌سنجی و تفسیر مفهومی-انتقادی، گذارهای معرفت‌شناختی این حوزه را عملیاتی‌سازی و تبیین کند. لازم به توضیح است که پژوهش حاضر ادعای اثبات گذار تاریخی کل برنامه‌ریزی شهری را ندارد، بلکه تمرکز خود را صریحاً بر «تحولات ساختاری و جابه‌جایی‌های پارادایمی در درون ادبیات هوش مصنوعی شهری طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ (Intra-Disciplinary Shift)» متمرکز نموده است. شواهد موجود در ادبیات نشان می‌دهند که این حوزه طی سال‌های اخیر تغییرات چندلایه‌ای را تجربه کرده است؛ از جمله گذار تدریجی از ادبیات صرفاً فنی-مهندسی به رویکردهای میان‌رشته‌ای، تحول در مفاهیم و واژگان مسلط، جابه‌جایی مرزهای دیسیپلینی و تغییر در الگوهای همکاری علمی. با این حال، ابعاد و سازوکارهای این تحولات هنوز به‌صورت نظام‌مند بررسی نشده‌اند. از این‌رو، پژوهش حاضر تلاش می‌کند این تغییرات را در سطوح ساختار دانشی، تحولات موضوعی، روندهای نوظهور، شبکه‌های همکاری علمی و توزیع جغرافیایی تولید دانش تحلیل کند.

از این منظر، مقاله حاضر هوش مصنوعی را نه صرفاً به‌عنوان یک فناوری شهری، بلکه به‌مثابه یک زیرساخت معرفتی نوظهور در برنامه‌ریزی شهری مفهوم‌سازی می‌کند؛ زیرساختی که در حال بازتعریف شیوه‌های تولید و اعتبارسنجی دانش، منطق تصمیم‌سازی و مناسبات قدرت در شهرهای هوشمند معاصر است.

۲. پیشینه نظری و تجربی

با گسترش سریع هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند، ادبیات این حوزه طی سال‌های اخیر توسعه قابل توجهی یافته است. این مطالعات طیف گسترده‌ای از موضوعات شامل حمل‌ونقل هوشمند، تحلیل فضایی، دوقلوهای دیجیتال شهری، حکمرانی شهری، تحلیل‌های محیطی، تاب‌آوری شهری و سامانه‌های تصمیم‌یار را دربر می‌گیرند. هم‌زمان، برخی پژوهش‌ها تلاش کرده‌اند فراتر از کاربردهای فنی، پیامدهای اجتماعی، اخلاقی و حکمرانی هوش مصنوعی در شهرها را نیز بررسی کنند. با این حال، جهت‌گیری مطالعات موجود یکسان نبوده و هر پژوهش تنها بخشی از این تحولات را پوشش داده است. در سطح منطقه‌ای نیز، مطالعاتی مانند بهزادفر و همکاران (۲۰۲۶) با رویکردی مشابه، تحولات علمی حوزه حمل‌ونقل پایدار را با تکیه بر تحلیل کتاب‌سنجی (هم‌واژه‌ای، هم‌تألیفی و هم‌استنادی) بررسی کرده‌اند؛ اما این مطالعات نیز عمدتاً به یک زیرحوزه خاص از ادبیات شهر هوشمند محدود مانده و کمتر به تفسیر معرفت‌شناختی یا مقایسه میان‌حوزه‌ای پرداخته‌اند. به‌منظور روشن‌تر شدن مسیر تحول ادبیات و شناسایی شکاف‌های پژوهشی موجود، مهم‌ترین مطالعات مرتبط در جدول ۱ مرور شده‌اند.

جدول ۱. مروری بر مطالعات پیشین مرتبط با هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند

نویسنده/نهاد	سال	محور پژوهش	روش	نتایج اصلی	محدودیت/خلأ پژوهش
Yigitcanlar et al.	۲۰۲۰	نقش هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری و شهرهای هوشمند	مرور ادبیات	AI در حوزه‌هایی مانند حمل‌ونقل، انرژی، حکمرانی و خدمات شهری نقش فزاینده‌ای دارد.	تمرکز غالب بر کاربردهای فنی و فقدان تحلیل دلالت‌های معرفت‌شناختی
Janowicz et al.	۲۰۲۰	ظهور GeoAI در مطالعات فضایی	مرور تحلیلی	AI موجب تحول در تحلیل فضایی و مدل‌سازی مکانی شده است.	تمرکز بر ابعاد فنی و مکانی، بدون تحلیل پیوندهای معرفتی با برنامه‌ریزی شهری
Bibri	۲۰۲۱	همگرایی کلان‌داده، AI و شهرهای هوشمند	مرور مفهومی	کلان‌داده و AI به عناصر محوری برنامه‌ریزی داده‌محور تبدیل شده‌اند.	محدود به رویکرد مفهومی و فاقد تحلیل تجربی ساختار دانش
Donthu et al.	۲۰۲۱	چارچوب‌ها و روش‌های تحلیل علم‌سنجی	مرور روش‌شناختی	تحلیل کتاب‌سنجی ابزاری مناسب برای مطالعه ساختار دانش و روندهای علمی است.	فاقد کاربرد مستقیم در تحلیل معرفتی شهرسازی
UN-Habitat	۲۰۲۲	فرصت‌ها، ریسک‌ها و حکمرانی هوش مصنوعی در شهرها	گزارش تحلیلی	عدالت داده، شفافیت الگوریتمی و حکمرانی مسئولانه اهمیت فزاینده‌ای یافته‌اند.	فاقد تحلیل شبکه‌های دانشی و روندهای تحول معرفتی
Steenmans et al.	۲۰۲۳	پیامدهای حکمرانی AI در شهرها	تحلیل نظری	ضرورت توسعه رویکردهای مسئولانه، شفاف و اخلاق‌محور در AI شهری برجسته شده است.	فاقد تحلیل تجربی و شبکه‌ای

نویسنده/نهاد	سال	محور پژوهش	روش	نتایج اصلی	محدودیت/خلأ پژوهش
Cugurullo et al.	۲۰۲۴	مفهوم‌سازی شهر الگوریتمی	تحلیل مفهومی- انتقادی	AI به بازیگری فعال در تولید و حکمرانی شهری تبدیل می‌شود.	فقدان شواهد علم‌سنجی و تحلیل روندهای دانشی
Si et al.	۲۰۲۵	کاربرد AI در برنامه‌ریزی شهری	تحلیل کتاب‌سنجی و هم‌واژگانی	یادگیری عمیق، یادگیری ماشین، AI مولد و Explainable AI به‌عنوان روندهای نوظهور شناسایی شدند.	تمرکز بر توصیف روندها و فقدان تفسیر معرفت‌شناختی
Batty	۲۰۲۶	تحول AI در برنامه‌ریزی شهری	مقاله نظری- تفسیری	گذار از مدل‌های قیاسی و نظری به مدل‌های استقرایی، داده‌محور و ظهور AI مولد در طراحی شهری تبیین شده است.	فاقد تحلیل تجربی ساختار دانش و روندهای موضوعی
Behzadfar et al.	۲۰۲۶	روندهای نوظهور در حمل‌ونقل پایدار	تحلیل کتاب‌سنجی (هم‌واژه‌ای، هم‌تألیفی، هم‌استنادی)	وسایل نقلیه برقی و تحرک اشتراکی به‌عنوان روندهای نوظهور شناسایی شدند؛ عدالت اجتماعی در حمل‌ونقل کمتر بررسی شده است.	تمرکز صرف بر یک زیرحوزه (حمل‌ونقل) بدون تحلیل معرفت‌شناختی یا مقایسه با سایر حوزه‌های شهر هوشمند

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های موجود عمدتاً در دو مسیر اصلی توسعه یافته‌اند. مسیر نخست شامل مطالعات کاربردی و مفهومی است که بر ظرفیت‌های فنی و نظری هوش مصنوعی در حوزه‌هایی نظیر حمل‌ونقل هوشمند، تحلیل فضایی، حکمرانی شهری، دوقلوهای دیجیتال و شهرهای هوشمند تمرکز داشته‌اند. مسیر دوم شامل مطالعات مروری و علم‌سنجی است که ساختارهای دانشی، شبکه‌های استنادی و روندهای موضوعی این حوزه را بررسی کرده‌اند. با وجود ارزش این مطالعات، بخش عمده آن‌ها همچنان در سطح توصیف الگوهای دانشی و روندهای پژوهشی باقی مانده و کمتر به تبیین دلالت‌های معرفت‌شناختی و انتقادی این تحولات پرداخته‌اند.

به بیان دقیق‌تر، هنوز مشخص نیست که تغییرات کتاب‌سنجی مشاهده‌شده در ادبیات هوش مصنوعی شهری تا چه اندازه بازتاب‌دهنده تغییرات عمیق‌تر در منطق تولید، اعتبارسنجی و توزیع دانش شهری هستند. این خلأ، نقطه ورود پژوهش حاضر است؛ پژوهشی که می‌کوشد با تلفیق تحلیل علم‌سنجی و تفسیر مفهومی-انتقادی، تصویری چندلایه از ساختار دانشی، تحولات موضوعی و گذارهای معرفت‌شناختی حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند ارائه کند. در راستای پاسخ به خلأهای پژوهشی شناسایی‌شده، پرسش‌های پژوهش به شرح زیر تدوین شدند:

سؤال اول: ساختار دانشی و هسته‌های فکری حاکم بر ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ چگونه سازمان یافته‌اند؟

سؤال دوم: مضامین و موضوعات اصلی پژوهش در این حوزه طی بازه زمانی مورد مطالعه چه تحولات و جابه‌جایی‌هایی را تجربه کرده‌اند؟

سؤال سوم: مهم‌ترین روندهای نوظهور، مفاهیم در حال ظهور و جبهه‌های تحقیقاتی پیشرو در این حوزه کدام‌اند؟

سؤال چهارم: گسترش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین چگونه به گذارهای معرفت‌شناختی و ساختاری در منطق تولید دانش شهری منجر شده است؟

سؤال پنجم: الگوهای همکاری علمی و میزان میان‌رشته‌ای بودن پژوهش‌های این حوزه طی سال‌های اخیر چگونه تحول یافته‌اند؟

سؤال ششم: چه نابرابری‌های جغرافیایی و نهادی در تولید دانش مرتبط با هوش مصنوعی شهری میان مناطق مختلف جهان وجود دارد؟

۳. روش‌شناسی پژوهش

۱.۳. طراحی پژوهش

پژوهش حاضر یک مطالعه مروری ساختاریافته با رویکرد علم‌سنجی-تفسیری است که با بهره‌گیری از چارچوبی ترکیبی شامل تحلیل علم‌سنجی، متن‌کاوی واژگانی و تفسیر مفهومی-انتقادی انجام شده است. واحد تحلیل پژوهش، ۳۵۷۸ مقاله پژوهشی و مروری انگلیسی‌زبان نمایه‌شده در پایگاه‌های Web of Science و Scopus است که پس از فرایند غربالگری و پالایش انتخاب شدند. در این پژوهش، برای سازمان‌دهی ادبیات از روش طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده بر پایه اصطلاح‌نامه تخصصی (Thesaurus-Based Supervised Lexical Mapping) استفاده شد تا تمایز آن با روش‌های متداول خوشه‌بندی بدون نظارت که صرفاً بر ساختار آماری داده‌ها متکی هستند، روشن باشد. برخلاف مطالعات علم‌سنجی متعارف که عمدتاً بر شاخص‌های توصیفی، شبکه‌های

هم‌نویسندگی یا هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها تمرکز دارند، پژوهش حاضر الگوهای علم‌سنجی را به‌عنوان نشانگرهایی برای تفسیر تغییرات احتمالی در ساختار دانشی و منطق تولید دانش شهری در نظر می‌گیرد. از این منظر، تحول کلیدواژه‌ها، جابه‌جایی‌های موضوعی، الگوهای همکاری علمی و توزیع جغرافیایی تولید دانش، علاوه بر ارائه تصویری از ساختار ادبیات، مبنایی برای تفسیر تحولات مفهومی و معرفت‌شناختی این حوزه فراهم می‌کنند. کلیه مراحل گردآوری، پاک‌سازی، استانداردسازی، تحلیل و بصری‌سازی داده‌ها در یک سامانه تحلیلی سفارشی‌شده تحت وب انجام شد که مشخصات و قابلیت‌های آن در بخش ۲.۴ تشریح شده است.

۲.۳. منابع داده و راهبرد جست‌وجو و غربالگری PRISMA 2020

به‌منظور دستیابی به مجموعه‌ای جامع از داده‌های اسنادی و فراداده‌های استاندارد، از دو پایگاه علمی بین‌المللی Web of Science و Core Collection استفاده شد. این دو پایگاه به دلیل پوشش گسترده مجلات علمی، کیفیت بالای فراداده‌های اسنادی و کاربرد گسترده در مطالعات علم‌سنجی و تحلیل ساختار دانش انتخاب شدند. داده‌های پژوهش در تاریخ ۲۸ آوریل ۲۰۲۶ استخراج شد و تمامی تحلیل‌ها بر مبنای همین نسخه از پایگاه‌ها انجام گرفت.

راهبرد جست‌وجو به‌صورت تکرارشونده طراحی و طی چند مرحله بازبینی شد تا میان جامعیت بازیابی و دقت موضوعی تعادل برقرار شود. پس از آزمون نسخه‌های اولیه، کوئری نهایی بر دو مفهوم فناورانه Artificial Intelligence و Machine Learning و سه مفهوم شهری Urban Planning، City Planning و Smart City متمرکز شد تا مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی شهری و شهر هوشمند با بیشترین دقت بازیابی شوند.

کوئری نهایی در پایگاه Web of Science در فیلد Topic به شرح زیر اجرا شد:

TS=(("artificial intelligence" OR "machine learning")

AND ("urban planning" OR "smart city" OR "city planning"))

AND PY=(۲۰۲۰-۲۰۲۵)

AND DT=(Article OR Review)

این جست‌وجو منجر به بازیابی ۱۹۰۹ رکورد شد.

کوئری متناظر در پایگاه Scopus نیز به صورت زیر تعریف و اجرا شد:

TITLE-ABS-KEY(

("artificial intelligence" OR "machine learning")

AND

("urban planning" OR "smart city" OR "city planning")

)

AND PUBYEAR > ۲۰۱۹

AND PUBYEAR < ۲۰۲۶

AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re"))

AND LIMIT-TO(LANGUAGE,"English")

این جست‌وجو ۳۱۸۱ رکورد را بازیابی کرد.

فرآیند پالایش و غربالگری داده‌ها مطابق دستورالعمل PRISMA ۲۰۲۰ و بر اساس معیارهای ورود و خروج از پیش تعیین‌شده انجام شد. مراحل این فرآیند در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. فرایند غربالگری و پالایش داده‌ها بر اساس چارچوب PRISMA ۲۰۲۰ (N = ۳,۵۷۸)

مرحله PRISMA	تعداد رکورد	شرح روش‌شناختی
شناسایی اولیه (Identification)	۵۰۹۰	استخراج اولیه از Web of Science = ۱۹۰۹ و Scopus = ۳۱۸۱
حذف رکوردهای تکراری (Deduplication)	۱۰۱۰	حذف رکوردهای تکراری بر اساس DOI، عنوان و تطبیق فراداده‌ها (مانده: ۴۰۸۰)
غربالگری موضوعی (Screening)	۴۶۰	حذف مطالعات غیرمرتبط با برنامه‌ریزی شهری شامل: سخت‌افزار، مخابرات و حسگرهای غیرشهری (۲۳۳)، کشاورزی و زراعت (۱۳۵)، زیست‌شناسی مولکولی و ژنتیک (۹۲) (مانده: ۳۶۲۰)
ارزیابی فراداده‌ها (Eligibility)	۴۲	حذف رکوردهای دارای نقص ساختاری در چکیده یا فیلدهای سال انتشار (مانده: ۳۵۷۸)

مرحله PRISMA	تعداد رکورد	شرح روش شناختی
نمونه نهایی (Included)	۳۵۷۸	مقالات واجد شرایط نهایی وارد شده به تحلیل سنتز کمی و کیفی

در مجموع، از ۵۰۹۰ رکورد اولیه استخراج شده، پس از حذف رکوردهای تکراری، غربالگری موضوعی و ارزیابی کیفیت فراداده‌ها، ۳۵۷۸ مقاله واجد شرایط وارد تحلیل نهایی شدند. این مجموعه داده، مبنای تمامی تحلیل‌های علم‌سنجی، متن‌کاوی، طبقه‌بندی موضوعی و تفسیرهای ارائه‌شده در پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهد.

۳.۳. پیش‌پردازش داده‌ها و تفکیک لایه‌ای واژگان عمومی (Stop-Words)

داده‌های خام استخراج‌شده از پایگاه‌های Web of Science و Scopus در قالب فایل‌های RIS وارد فرایند پیش‌پردازش شدند. در این مرحله، پس از شناسایی و حذف رکوردهای تکراری بر اساس شناسه DOI، عنوان مقاله و تطبیق فراداده‌های نویسندگان، واژگان از نظر تفاوت‌های نگارشی، اختصارات، مترادف‌ها و صورت‌های مختلف نوشتاری استانداردسازی شدند. برای نمونه، صورت‌های مختلف مفاهیمی مانند *Artificial Intelligence/AI* و *Machine Learning/ML* یکپارچه شدند تا از پراکندگی مصنوعی فراوانی واژگان جلوگیری شود. از آنجا که برخی اصطلاحات چتری و بسیار پرتکرار، مانند *Machine Artificial Intelligence*، *Smart City*، *Learning*، *Urban Planning*، در بخش بزرگی از مقالات حضور داشتند، حفظ آن‌ها در شبکه هم‌رخدادی موجب شکل‌گیری گره‌های بسیار بزرگ و کاهش قدرت تمایزبخشی شبکه می‌شد. از این‌رو، دامنه اعمال واژگان عمومی به صورت لایه‌ای تعریف شد. این اصطلاحات از شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها و تحلیل روندهای نوظهور مبتنی بر کلیدواژه‌ها حذف شدند تا روابط میان مفاهیم تخصصی‌تر و زمینه‌ای آشکار شود، اما در کوئری جست‌وجو، طبقه‌بندی موضوعی مقالات و کدگذاری پارادایم‌های معرفت‌شناختی حفظ شدند. این تفکیک موجب شد حذف واژگان عمومی تنها در تحلیل‌هایی اعمال شود که فراوانی بسیار بالای آن‌ها می‌توانست ساختار شبکه یا رتبه‌بندی روندها را مخدوش کند، بدون آنکه نقش این مفاهیم در بازیابی مقالات و تحلیل‌های مبتنی بر متن نادیده گرفته شود. دامنه اعمال واژگان منتخب و توجیه روش‌شناختی هر مورد در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: ماتریس تفکیک دامنه اعمال واژگان حذف‌شده (Stop-Words Scope Matrix)

نام واژه / مفهوم	لایه شبکه تعاملی گراف (Vis- Network)	لایه متن کاوی پارادایم‌ها و فیلترها	علت روش‌شناختی و فنی
Artificial Intelligence / AI	حذف شد	حفظ شد	جلوگیری از تشکیل گره چتری بی‌اثر در گراف / حفظ برای فیلتر و کدگذاری پارادایم‌ها
Machine Learning / ML	حذف شد	حفظ شد	حذف از گراف واژگانی برای نمو مفاهیم زمینه/ حفظ برای پارادایم داده‌محور
Smart City / Smart Cities	حذف شد	حفظ شد	حذف از گراف شبکه موضوعی / حفظ در کوئری اولیه و سنجش جامعیت مقالات
Urban Planning	حذف شد	حفظ شد	حذف از لایه گراف شبکه برای ناتوان‌سازی اتصالات بی‌اثر / حفظ در متن کاوی
Sustainable Development	حفظ شد	حفظ شد	حفظ به عنوان کلیدواژه تخصصی شاخص در خوشه محیط زیست و پایداری

۴.۳. داشبورد تحلیلی سفارشی‌شده و محیط پیاده‌سازی

به‌منظور یکپارچه‌سازی مراحل پردازش، تحلیل و بصری‌سازی داده‌های علم‌سنجی، یک داشبورد تحلیلی تحت وب توسعه داده شد. این محیط، فرایندهای استانداردسازی داده‌ها، تشکیل شبکه‌های هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، طبقه‌بندی موضوعی، تحلیل روندهای زمانی، شناسایی مفاهیم نوظهور، تحلیل همکاری علمی و بررسی توزیع جغرافیایی تولید دانش را در قالب یک سامانه یکپارچه پشتیبانی می‌کرد. این داشبورد به‌عنوان محیط اجرای تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت و جایگزین روش‌های علم‌سنجی نبود؛ بلکه امکان اجرای منسجم مراحل مختلف تحلیل، مدیریت داده‌ها، بازبینی نتایج و تولید خروجی‌های موردنیاز برای تفسیر مفهومی-انتقادی را فراهم ساخت. سامانه با استفاده از زبان JavaScript توسعه یافت. برای نمایش شبکه‌های دانشی و گراف‌های تعاملی از کتابخانه Vis-Network و برای ترسیم نمودارهای آماری و روندهای زمانی از Chart.js استفاده شد. داده‌ها پس از پاک‌سازی، حذف

رکوردهای تکراری و استانداردسازی واژگان وارد محیط تحلیل شدند و تمامی تحلیل‌های گزارش‌شده در این پژوهش در همین بستر انجام گرفت.

به‌منظور افزایش شفافیت و قابلیت بازبینی تحلیل‌ها، پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم Barnes-Hut Force-Directed Layout برای جانمایی شبکه‌ها به‌صورت ثابت تنظیم شد. مقادیر مورد استفاده عبارت بودند از:

- $\text{gravitationalConstant} = -2000$
- $\text{centralGravity} = 0.1$
- $\text{springLength} = 95$
- $\text{springConstant} = 0.04$
- $\text{damping} = 0.09$

همچنین، برای کاهش نویز شبکه، تنها یال‌هایی با وزن $W \geq 2$ در تحلیل و بصری‌سازی شبکه‌های هم‌رخدادی نمایش داده شدند.

۵.۳. تکنیک‌های تحلیلی و اعتبار سنجی و پیوند آن‌ها با پرسش‌های پژوهش

به‌منظور پاسخ‌گویی به شش پرسش پژوهش، مجموعه‌ای از تکنیک‌های مکمل شامل طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده، تحلیل شبکه، تحلیل روندهای زمانی، متن‌کاوی، تحلیل هم‌نویسندگی و تحلیل توزیع جغرافیایی به‌کار گرفته شد. هر یک از این تکنیک‌ها یکی از ابعاد ساختار دانشی حوزه را بررسی می‌کنند و در کنار یکدیگر امکان تفسیر تحولات موضوعی و تغییرات در الگوهای تولید دانش را فراهم می‌سازند. همچنین، برای اطمینان از اعتبار و استحکام نتایج، در هر مرحله از تحلیل از شاخص‌های ارزیابی و کنترل کیفیت متناسب استفاده شد که جزئیات آن در زیربخش‌های همین بخش تشریح می‌شود.

تحلیل ساختار دانشی و طبقه‌بندی موضوعی

برای پاسخ به پرسش نخست پژوهش، ساختار دانشی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری با استفاده از طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده مبتنی بر اصطلاح‌نامه تخصصی (*Thesaurus-Based Supervised Lexical Mapping*) تحلیل شد. برخلاف رویکردهای متداول خوشه‌بندی بدون نظارت، در این پژوهش انتساب مقالات به حوزه‌های موضوعی بر پایه قواعد واژگانی از پیش تعریف‌شده انجام شد تا حوزه‌های دانشی با مفاهیم تخصصی برنامه‌ریزی شهری انطباق بیشتری داشته باشند. اصطلاح‌نامه تخصصی پژوهش بر پایه مرور نظام‌مند ادبیات، تحلیل کلیدواژه‌های پرتکرار، استانداردسازی مترادف‌ها و بازبینی مفهومی توسط پژوهشگران تدوین شد. بر این اساس، پنج حوزه موضوعی اصلی شامل محیط زیست و پایداری شهری، تحرک و حمل‌ونقل

هوشمند، مدیریت، ایمنی و حکمرانی، تحلیل فضایی و کاربری اراضی، و طراحی و زیرساخت شهری تعریف شد و برای هر حوزه مجموعه‌ای از کلیدواژه‌های تخصصی به عنوان قواعد انتساب مقالات تعیین گردید. در فرایند طبقه‌بندی، عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های نویسندگان هر مقاله به‌طور هم‌زمان بررسی شد و هر مقاله بر اساس بیشترین میزان انطباق مفهومی با اصطلاح‌نامه، تنها به یک حوزه موضوعی غالب منتسب گردید. از این‌رو، طبقه‌بندی موضوعی در این پژوهش به صورت تک‌برچسبی (Single-label Classification) انجام شد. به منظور ارزیابی روایی طبقه‌بندی، نمونه‌ای شامل ۴۰۰ مقاله به صورت مستقل توسط دو ارزیاب کدگذاری شد. ضریب کاپای کوهن ($K = 0.884$) بیانگر توافق بسیار بالا میان ارزیابان بود. همچنین، برای بررسی استحکام ساختار طبقه‌بندی، شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها با استفاده از الگوریتم Louvain Community Detection تحلیل و میزان همگرایی آن با طبقه‌بندی نظارت‌شده از طریق شاخص اطلاعات متقابل نرمال‌شده ($NMI = 0.795$) و شاخص تعدیل‌شده رند ($ARI = 0.821$) ارزیابی شد. مقادیر به دست آمده نشان‌دهنده همگرایی مناسب میان ساختار شبکه کلیدواژه‌ها و طبقه‌بندی موضوعی پیشنهادی است. در نهایت، شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها برای نمایش روابط میان مفاهیم با استفاده از الگوریتم Barnes-Hut در محیط Vis-
Network بصری‌سازی شد. این الگوریتم صرفاً برای جانمایی گره‌ها و بهبود نمایش ساختار شبکه به کار رفت و در فرایند طبقه‌بندی موضوعی یا اعتبارسنجی آن نقشی نداشت.

تحلیل تحول موضوعی و جابه‌جایی مفاهیم پژوهشی

برای پاسخ به پرسش دوم پژوهش، تحول موضوعی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری از طریق تحلیل سری زمانی توزیع مقالات در پنج حوزه موضوعی طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ بررسی شد. در این مرحله، تعداد و سهم نسبی مقالات هر حوزه موضوعی در هر سال محاسبه گردید تا تغییرات تدریجی در وزن موضوعی، رشد، افول یا تثبیت حوزه‌های مختلف قابل شناسایی باشد. به منظور جلوگیری از برداشت‌های نادرست ناشی از رشد کلی حجم انتشارات، علاوه بر تعداد مطلق مقالات، سهم نسبی هر حوزه از کل تولیدات علمی سالانه نیز محاسبه شد. این رویکرد امکان تفکیک رشد واقعی یک حوزه از تغییرات ناشی از افزایش عمومی حجم انتشار مقالات را فراهم کرد. بر این اساس، تحلیل روندهای زمانی نشان داد که کدام حوزه‌های موضوعی طی دوره مطالعه سهم بیشتری از ادبیات را به خود اختصاص داده‌اند، کدام حوزه‌ها با کاهش سهم نسبی مواجه شده‌اند و در نتیجه، چگونه اولویت‌های پژوهشی در حوزه هوش مصنوعی شهری طی زمان دستخوش بازآرایی شده است. نتایج این تحلیل مبنای تفسیر تحولات موضوعی و جابه‌جایی اولویت‌های پژوهشی ارائه شده در بخش نتایج را تشکیل می‌دهد. افزون بر این، به منظور مقایسه شتاب گسترش تولیدات علمی در هر یک از حوزه‌ها، نرخ رشد ساده مقالات هر حوزه نسبت به سال پایه (۲۰۲۰) بر اساس فرمول Growth

$Rate = ((N_t - N_{2020}) / N_{2020}) \times 100$ محاسبه گردید. این نرخ در دو بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۵ (کل دوره مورد بررسی) و ۲۰۲۰-۲۰۲۴ (به منظور کنترل و تعدیل اثر تأخیر در نمایه سازی یا Indexing Lag مقالات در سال پایانی) گزارش شد تا تغییرات کمی هر حوزه بدون اشتباه با نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR) قابل مقایسه باشد.

تحلیل روندهای نوظهور و جبهه های تحقیقاتی

برای پاسخ به پرسش سوم پژوهش، روندهای نوظهور کلیدواژه ها شناسایی و به عنوان مبنایی برای تفسیر جبهه های نوظهور پژوهشی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه ریزی شهری مورد استفاده قرار گرفت. این تحلیل بر این فرض استوار بود که مفاهیمی که در دوره های اخیر نسبت به دوره های پیشین رشد بیشتری را تجربه می کنند، می توانند بیانگر تغییر در اولویت های پژوهشی و شکل گیری حوزه های نوظهور تحقیق باشند. از این رو، شناسایی روندهای نوظهور بر شدت رشد کلیدواژه ها، و نه صرفاً فراوانی مطلق آن ها، استوار شد.

برای مقایسه شدت رشد مفاهیم، شاخص رشد نسبی هموار شده (Relative Growth Index; RGI) تعریف و محاسبه شد. بدین منظور، دوره مطالعه به دو بازه زمانی شامل دوره مبنا (۲۰۲۰-۲۰۲۲) و دوره اخیر (۲۰۲۳-۲۰۲۵) تقسیم گردید. سپس برای هر کلیدواژه، مجموع فراوانی آن در هر دوره محاسبه و شاخص RGI مطابق رابطه زیر به دست آمد:

$$RGI(kw) = \frac{F_{recent}(kw) - F_{baseline}(kw)}{F_{baseline}(kw) + 5}$$

که در آن:

$$F_{recent}(kw) = \sum_{year=2023}^{2025} Freq(kw, year)$$

و

$$F_{baseline}(kw) = \sum_{year=2020}^{2022} Freq(kw, year)$$

به ترتیب بیانگر مجموع فراوانی کلیدواژه در دوره اخیر و دوره مبنا هستند.

به منظور جلوگیری از بزرگ نمایی مصنوعی نرخ رشد کلیدواژه هایی که فراوانی بسیار اندکی در دوره مبنا داشتند، مقدار ثابت ۵ به عنوان یک پارامتر هموار ساز (Smoothing Constant) به مخرج رابطه افزوده شد. همچنین، برای کاهش نویز و افزایش قابلیت

اتکای نتایج، تنها کلیدواژه‌هایی وارد تحلیل شدند که حداقل ۱۰ رخداد در دوره اخیر ($F_{recent}(kw) \geq 10$) داشتند. افزون بر این، واژگان عمومی و فاقد قدرت تمایزبخش که در فهرست Stop-Words قرار داشتند، پیش از محاسبه شاخص حذف شدند. پس از محاسبه RGI، کلیدواژه‌های واجد شرایط بر اساس مقدار این شاخص به صورت نزولی مرتب شدند و مفاهیم دارای بیشترین مقدار RGI به عنوان برجسته‌ترین روندهای نوظهور گزارش گردیدند. در ادامه، به منظور ارزیابی پایداری این روندها، تغییرات سالانه فراوانی و سهم نسبی کلیدواژه‌های منتخب در داشبورد تحلیلی بررسی شد. بدین ترتیب، روندهای نوظهور شناسایی شده مبنای تفسیر جابه‌جایی دستورکارهای پژوهشی و جبهه‌های نوظهور تحقیق در ادبیات هوش مصنوعی شهری قرار گرفت. در این پژوهش، شاخص RGI به عنوان شاخصی عملیاتی برای مقایسه شدت رشد نسبی مفاهیم، با هدف رتبه‌بندی روندهای نوظهور، نه برآورد آماری نرخ رشد یا آزمون معناداری تغییرات زمانی، استفاده شد.

تحلیل گذارهای معرفت‌شناختی و طبقه‌بندی پارادایم‌های تولید دانش

برای پاسخ به پرسش چهارم پژوهش، گذارهای معرفت‌شناختی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری بر پایه متن‌کاوی عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های مقالات تحلیل شدند. هدف از این تحلیل، بررسی تحول در منطق تولید و اعتبارسنجی دانش و شناسایی تغییر رویکردهای معرفتی مسلط در این حوزه بود.

چارچوب تحلیلی پژوهش بر چهار پارادایم معرفت‌شناختی استوار بود: (۱) پارادایم آماری و تحلیلی کلاسیک (*Deductive/Statistical Empiricism*)، (۲) پارادایم شبیه‌سازی و مبتنی بر قانون (*Complexity/Process-Driven*)، (۳) پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه (*Inductive/Algorithmic Epistemology*) و (۴) پارادایم زایشی و مبتنی بر هوش مصنوعی نوین (*Synthetic/Generative Epistemology*). شناسایی این پارادایم‌ها بر اساس مجموعه‌ای از عبارات تخصصی چندواژه‌ای (*Multi-word Expressions; MWEs*) انجام شد که به عنوان نشانگرهای واژگانی (*Lexical Indicators*) هر پارادایم تعریف شده بودند. استفاده از این عبارات تخصصی، به جای واژگان منفرد، احتمال انتساب نادرست ناشی از واژگان چندمعنا یا عمومی را کاهش داد و دقت طبقه‌بندی را افزایش بخشید.

پارادایم آماری و تحلیلی کلاسیک شامل پژوهش‌هایی بود که بر آزمون فرضیه، تحلیل‌های آماری و مدل‌های رگرسیونی متکی بودند و با عبارتهایی مانند *linear regression*، *spatial regression* و *geographically weighted regression (GWR)* شناسایی شدند. پارادایم شبیه‌سازی و مبتنی بر قانون پژوهش‌هایی را دربر می‌گرفت که از مدل‌هایی نظیر *agent-based*، *cellular automata modeling* و *system dynamics* برای بازنمایی و شبیه‌سازی فرایندهای شهری استفاده می‌کردند. پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه شامل مطالعاتی بود که بر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و الگوریتم‌های پیش‌بینی استوار بودند و

با نشانگرهایی نظیر *deep learning*, *neural network*, *random forest* و *XGBoost* شناسایی شدند. در نهایت، پارادایم زایشی و مبتنی بر هوش مصنوعی نوین پژوهش‌هایی را دربر می‌گرفت که از مدل‌های مولد، مدل‌های زبانی بزرگ و طراحی مولد در تحلیل، طراحی یا تصمیم‌سازی شهری بهره می‌بردند و با عبارت‌هایی مانند (*generative adversarial network (GAN)*, *ChatGPT*, *large language model (LLM)* و *generative design* مشخص شدند.

در فرآیند کدگذاری، عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های هر مقاله به صورت هم‌زمان بررسی شد. در مواردی که نشانگرهای واژگانی متعلق به بیش از یک پارادایم در یک مقاله مشاهده می‌شد، انتساب نهایی بر اساس پارادایمی انجام گرفت که بیشترین فراوانی و قوی‌ترین انطباق مفهومی را در مجموعه متن مقاله داشت. به منظور جلوگیری از هم‌پوشانی آماری میان پارادایم‌ها و حفظ قابلیت مقایسه نتایج، طبقه‌بندی به صورت تک‌برچسبی (*Single-label Classification*) انجام شد؛ از این رو، هر مقاله تنها به یک پارادایم غالب منتسب شد. پس از تکمیل فرآیند کدگذاری، فراوانی و سهم نسبی هر پارادایم در کل دوره مطالعه و به تفکیک سال محاسبه شد تا روند تحول منطق‌های تولید دانش طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ بررسی شود. همچنین، به منظور تحلیل ارتباط میان حوزه‌های موضوعی و رویکردهای معرفتی، ماتریس تقاطع میان چهار پارادایم معرفت‌شناختی و پنج خوشه موضوعی تشکیل شد تا نحوه توزیع پارادایم‌های تولید دانش در حوزه‌های مختلف ادبیات هوش مصنوعی شهری تحلیل شود. به منظور ارزیابی عملکرد چارچوب پیشنهادی، فرآیند کدگذاری بر روی یک مجموعه مرجع اعتبارسنجی شد. مقدار $F1-Score = 0.907$ نشان‌دهنده دقت بالای چارچوب در شناسایی پارادایم‌های معرفت‌شناختی و کاهش خطاهای ناشی از انتساب واژگان منفرد است.

تحلیل همکاری علمی و میان رشته‌ای شدن حوزه

برای پاسخ به پرسش پنجم پژوهش، الگوهای همکاری علمی و میزان میان‌رشته‌ای بودن ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری تحلیل شدند. در این مرحله، شاخص همکاری بر اساس میانگین تعداد نویسندگان هر مقاله محاسبه شد و شبکه‌های هم‌نویسندگی، نویسندگان پرتولید و وابستگی‌های سازمانی آنان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، تنوع وابستگی‌های نهادی و رده‌های موضوعی مقالات به عنوان نمایه‌ای از میان‌رشته‌ای بودن حوزه تحلیل شد. هدف از این تحلیل، ارزیابی میزان گذار تولید دانش از الگوهای فردی و تک‌رشته‌ای به شبکه‌های پژوهشی تیم‌محور، چندنهادی و میان رشته‌ای و تبیین نقش همکاری‌های علمی در گسترش ادبیات هوش مصنوعی شهری بود.

تحلیل نابرابری‌های جغرافیایی و نهادی در تولید دانش

برای پاسخ به پرسش ششم پژوهش، اطلاعات مربوط به وابستگی‌های سازمانی نویسندگان و کشورهای محل استقرار آن‌ها از فراداده مقالات استخراج، یکپارچه‌سازی و استانداردسازی شد. سپس، توزیع جغرافیایی تولیدات علمی، سهم کشورهای مختلف، الگوهای همکاری‌های بین‌المللی و میزان تمرکز تولید دانش در مقیاس جهانی مورد تحلیل قرار گرفت. این تحلیل با هدف شناسایی قطب‌های اصلی تولید دانش، بررسی میزان تمرکز یا پراکندگی فعالیت‌های پژوهشی، و ارزیابی نحوه توزیع ظرفیت‌های علمی در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری انجام شد. در این پژوهش، الگوهای توزیع جغرافیایی صرفاً به‌عنوان شاخص‌هایی برای شمارش تولیدات علمی یا رتبه‌بندی کشورها تلقی نشدند، بلکه به‌عنوان شواهدی از تفاوت‌های نهادی و نابرابری‌های موجود در اکوسیستم جهانی تولید دانش تفسیر شدند. بر این اساس، تمرکز تولیدات علمی در برخی کشورها می‌تواند بازتاب تفاوت در دسترسی به زیرساخت‌های داده، توان محاسباتی، سرمایه‌گذاری‌های پژوهشی، شبکه‌های همکاری بین‌المللی و ظرفیت‌های نهادی برای توسعه و به‌کارگیری هوش مصنوعی باشد. از این منظر، تحلیل جغرافیای تولید دانش تنها به توصیف محل انتشار پژوهش‌ها محدود نمی‌شود، بلکه امکان بررسی این مسئله را فراهم می‌آورد که چگونه توزیع نابرابر منابع علمی و فناورانه می‌تواند بر جهت‌گیری دستورکارهای پژوهشی، شکل‌گیری مرزهای دانش، توسعه روش‌های هوش مصنوعی و حتی قابلیت تعمیم و انتقال نتایج پژوهش‌ها در زمینه برنامه‌ریزی شهری اثر بگذارد. به همین دلیل، نتایج این بخش مبنایی برای تفسیر ابعاد نهادی و جغرافیایی تحول ادبیات هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری فراهم می‌کنند.

۶.۳. اعتبارسنجی، استحکام و بازبینی‌پذیری تحلیل

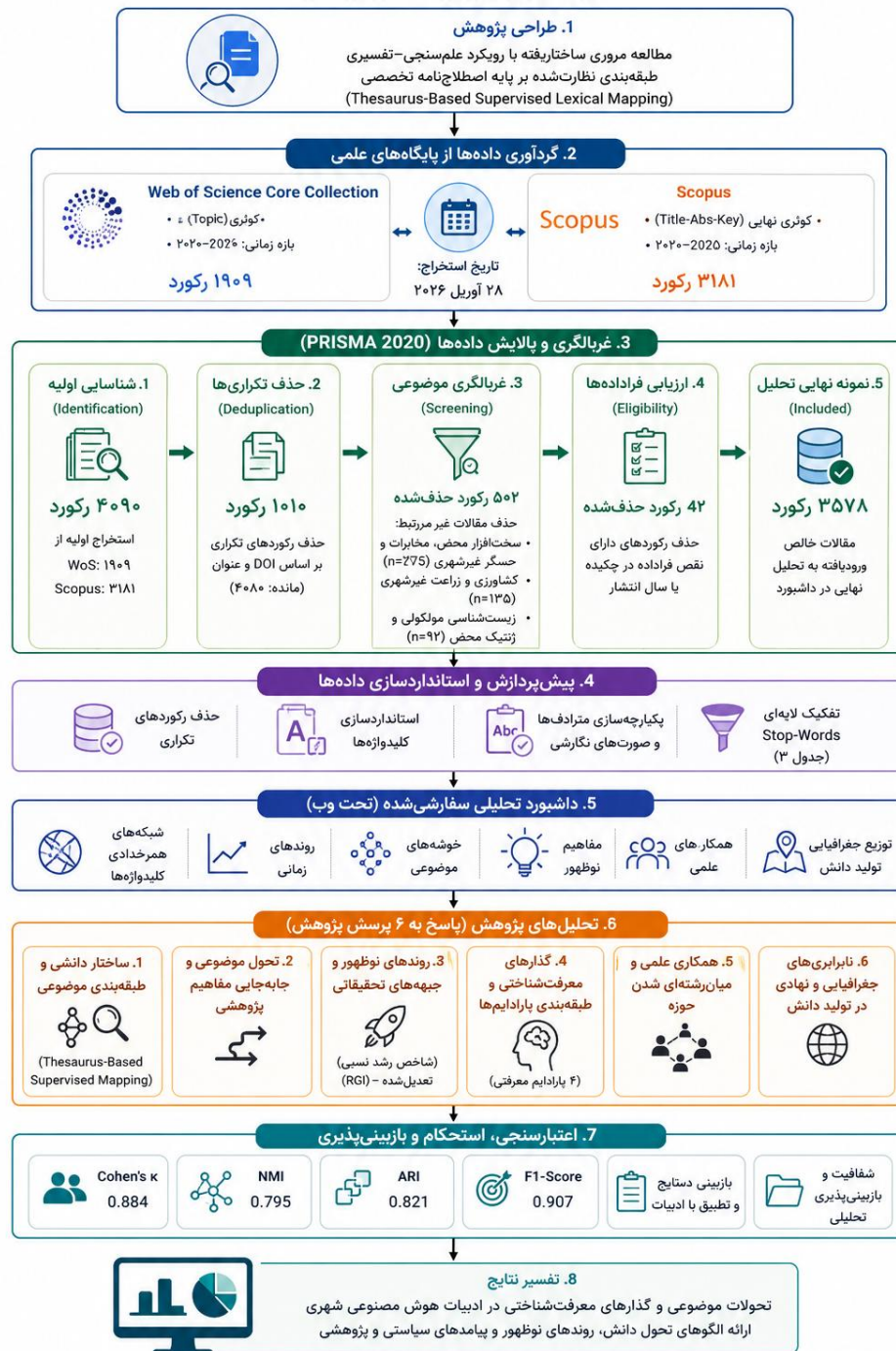
به‌منظور افزایش اعتبار نتایج و اطمینان از استحکام نتایج، کنترل‌های روش‌شناختی در چهار سطح شامل کیفیت داده‌ها، روایی طبقه‌بندی موضوعی، انسجام مفهومی نتایج و بازبینی‌پذیری فرایند تحلیل اعمال شد. با توجه به آنکه پژوهش حاضر از ترکیب تحلیل علم‌سنجی، طبقه‌بندی واژگانی نظارت‌شده و تفسیر مفهومی بهره می‌گیرد، اعتبار نتایج صرفاً به دقت پردازش داده‌ها محدود نشد، بلکه سازگاری مفهومی طبقه‌بندی‌ها و شفافیت فرایند تحلیل نیز ارزیابی شد.

در گام نخست، کیفیت داده‌ها از طریق حذف رکوردهای تکراری، استانداردسازی کلیدواژه‌ها، یکپارچه‌سازی صورت‌های نگارشی و مترادف‌ها و اعمال سیاست تفکیک لایه‌ای واژگان عمومی مطابق بخش ۲.۳ کنترل شد. این فرایند، ضمن کاهش نویز شبکه‌های هم‌رخدادی، از حذف اطلاعات مفهومی موردنیاز در تحلیل‌های متن‌کاوی و طبقه‌بندی موضوعی جلوگیری کرد. در گام دوم، روایی طبقه‌بندی موضوعی با کدگذاری مستقل ۴۰۰ مقاله توسط دو ارزیاب بررسی شد. مقدار ضریب کاپای کوهن ($K = 0.884$) بیانگر توافق بسیار بالا میان ارزیابان بود. همچنین، برای ارزیابی استحکام ساختار استخراج‌شده، نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده با خروجی

الگوریتم خوشه‌بندی بدون نظارت Louvain Community Detection مقایسه شد. مقادیر $NMI = 0.795$ و $ARI = 0.821$ نیز همگرایی قابل قبول میان ساختار شبکه کلیدواژه‌ها و طبقه‌بندی مفهومی پژوهش را نشان دادند. در گام سوم، انسجام مفهومی حوزه‌های موضوعی بر اساس کلیدواژه‌های مرکزی، روابط هم‌رخدادی و انطباق آن‌ها با ادبیات تخصصی ارزیابی شد. علاوه بر این، بخشی از نتایج طبقه‌بندی به صورت دستی بازبینی شد تا موارد احتمالی انتساب نادرست، ابهام مفهومی یا ناسازگاری در نام‌گذاری حوزه‌ها شناسایی شود. این بازبینی، مکمل شاخص‌های آماری بود و به افزایش تفسیرپذیری نتایج کمک کرد. در نهایت، به منظور تقویت شفافیت و بازبینی‌پذیری پژوهش، تمامی مراحل گردآوری، پاک‌سازی، استانداردسازی و تحلیل داده‌ها مستندسازی شد و نسخه قابل مشاهده داشبورد تحلیلی به همراه توضیحات مربوط به فرایند پردازش در وبسایت پژوهش (futuresearcher.ir) در دسترس قرار گرفت. باین حال، بازتولید کامل نتایج مستلزم دسترسی به داده‌های اولیه، اصطلاح‌نامه تخصصی، قواعد استانداردسازی و تنظیمات تحلیلی یکسان است؛ از این رو، این پژوهش بر شفافیت روش‌شناختی، قابلیت بازبینی و بازتولیدپذیری مشروط تأکید دارد. چارچوب کلی روش‌شناسی پژوهش برای بررسی تحولات موضوعی و تغییرات رویکردهای تولید دانش در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱. طرح شماتیک فرایند روش‌شناسی پژوهش

شکل ۱. چارچوب روش‌شناختی پژوهش



۴. نتایج

نتایج پژوهش در راستای پاسخ‌گویی به شش پرسش پژوهش و بر پایه چارچوب تحلیلی ارائه‌شده در بخش روش‌شناسی سازمان‌دهی شده‌اند. در این فصل، ابتدا ساختار دانشی حوزه بررسی می‌شود و سپس تحولات موضوعی، روندهای نوظهور، گذارهای معرفت‌شناختی، الگوهای همکاری علمی و توزیع جغرافیایی تولید دانش مورد تحلیل قرار می‌گیرند. این ترتیب، امکان ارائه تصویری منسجم از چگونگی تحول ساختار دانش، جهت‌گیری‌های پژوهشی و منطق تولید دانش در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند را فراهم می‌سازد. تمامی نتایج گزارش‌شده بر پایه مجموعه داده نهایی شامل ۳,۵۷۸ مقاله استخراج و تحلیل شده‌اند.

۱.۴. ساختار دانشی و هسته‌های فکری حوزه

به‌منظور پاسخ به پرسش نخست پژوهش، ساختار دانشی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ تحلیل شد. از مجموع ۵۰۹۰ رکورد اولیه استخراج‌شده از پایگاه‌های Web of Science و Scopus، پس از حذف رکوردهای تکراری، غربالگری موضوعی و ارزیابی فراداده‌ها، ۳۵۷۸ مقاله به‌عنوان نمونه نهایی وارد تحلیل شدند. بر اساس روش «طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده مبتنی بر اصطلاح‌نامه تخصصی» که در بخش ۲.۵.۱ تشریح شد، هر مقاله با توجه به بیشترین میزان انطباق مفهومی عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها با اصطلاح‌نامه تخصصی، تنها به یکی از پنج حوزه موضوعی اصلی منتسب شد. همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد، حوزه «محیط زیست و پایداری شهری» با ۱۱۴۳ مقاله (۳۱.۹ درصد) بزرگ‌ترین حوزه موضوعی ادبیات را تشکیل می‌دهد. پس از آن، حوزه «تحرك و حمل‌ونقل هوشمند» با ۹۶۸ مقاله (۲۷.۱ درصد) و حوزه «مدیریت، ایمنی و حکمرانی» با ۹۱۰ مقاله (۲۵.۴ درصد) در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. دو حوزه «تحلیل فضایی و کاربری اراضی» با ۳۰۵ مقاله (۸.۵ درصد) و «طراحی و زیرساخت شهری» با ۲۵۲ مقاله (۷.۰ درصد) نیز سهم کمتری از مجموعه مقالات را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به تک‌برچسبی بودن نظام طبقه‌بندی، هر مقاله تنها در یکی از این پنج حوزه طبقه‌بندی شده است؛ از این‌رو، مجموع فراوانی حوزه‌ها با تعداد کل مقالات نمونه نهایی (۳۵۷۸ مقاله) برابر است. اختلاف جزئی مجموع درصدها با ۱۰۰ درصد نیز ناشی از گرد کردن مقادیر اعشاری است.

الگوی توزیع موضوعی نشان می‌دهد که ساختار دانشی این حوزه عمدتاً پیرامون سه محور پایداری محیطی، تحرك هوشمند و حکمرانی شهری سازمان یافته است؛ به‌گونه‌ای که این سه حوزه در مجموع ۸۴.۴ درصد از کل مقالات را دربر می‌گیرند. غلبه حوزه

محیط زیست و پایداری شهری بیانگر آن است که کاربرد هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری بیش از هر چیز به مسائل مرتبط با پایداری، تغییرات اقلیمی، انتشار آلاینده‌ها و مدیریت محیط شهری معطوف شده است. در کنار آن، سهم بالای حوزه تحرک و حمل‌ونقل هوشمند استمرار جایگاه موضوعاتی مانند مدیریت ترافیک، وسایل نقلیه خودران و بهینه‌سازی جابه‌جایی را نشان می‌دهد، در حالی که حضور پررنگ حوزه مدیریت، ایمنی و حکمرانی بیانگر اهمیت روزافزون سامانه‌های پشتیبان تصمیم، حکمرانی داده، امنیت سایبری و مدیریت هوشمند در ادبیات این حوزه است. در مقابل، اگرچه حوزه‌های تحلیل فضایی و کاربری اراضی و طراحی و زیرساخت شهری سهم کمتری از تولیدات علمی را به خود اختصاص داده‌اند، اما همچنان به‌عنوان اجزای متمایز و مکمل ساختار دانشی هوش مصنوعی شهری شناخته می‌شوند. توزیع این پنج حوزه موضوعی و فراوانی و سهم هر حوزه در جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ۴. توزیع حوزه‌های موضوعی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری بر اساس طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

خوشه موضوعی (Bilingual)	فراوانی	درصد	پرتکرارترین کلیدواژه‌ها
محیط زیست و پایداری شهری (Urban Sustainability)	۱۱۴۳	۳۱.۹٪	sustainability, carbon emissions, ...
تحرک و حمل‌ونقل هوشمند (Smart Mobility)	۹۶۸	۲۷.۱٪	congestion, autonomous vehicles, ...
مدیریت، ایمنی و حکمرانی (& Governance) (Management)	۹۱۰	۲۵.۴٪	governance, decision support system, ...
تحلیل فضایی و کاربری اراضی (Land Use & Spatial Analytics)	۳۰۵	۸.۵٪	geographic information systems, land use, ...

خوشه موضوعی (Bilingual)	فراوانی	درصد	پرتکرارترین کلیدواژه‌ها
طراحی و زیرساخت (مدل‌سازی سه‌بعدی) (Urban Design & Infrastructure)	۲۵۲	۷.۰٪	information modeling, BIM, digital twin, ...
مقالات کل مجموع	۳۵۷۸	۱۰۰٪	—

برای تکمیل تصویر ساختار مفهومی حوزه، شکل ۲ ابرواژگان مفاهیم پرتکرار استخراج شده از کلیدواژه‌های مقالات را نمایش می‌دهد. در این تصویر، اندازه هر واژه متناسب با فراوانی وقوع آن در مجموعه داده‌ها است؛ از این‌رو، واژگان بزرگ‌تر بیانگر مفاهیمی هستند که در تعداد بیشتری از مقالات حضور داشته‌اند. مفاهیمی مانند Internet of Things، Remote Sensing، Learning، Blockchain، GIS، Digital Twin، Decision Making، Sustainable Development، Big Data، Systems و Cybersecurity از جمله پرتکرارترین مفاهیم مشاهده شده هستند. این الگو نشان می‌دهد که ادبیات هوش مصنوعی شهری بر مجموعه‌ای متنوع از موضوعات شامل فناوری‌های هوشمند، پایداری محیطی، تحلیل فضایی، زیرساخت‌های دیجیتال و حکمرانی شهری استوار است. در حالی که ابرواژگان نمایی کلی از پراکندگی و اهمیت نسبی مفاهیم را ارائه می‌کند، طبقه‌بندی موضوعی ارائه شده در جدول ۴ این مفاهیم را به صورت نظام‌مند در قالب پنج حوزه دانشی اصلی سازمان‌دهی می‌کند.

شکل ۲. ابرواژگان مفاهیم پرتکرار در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

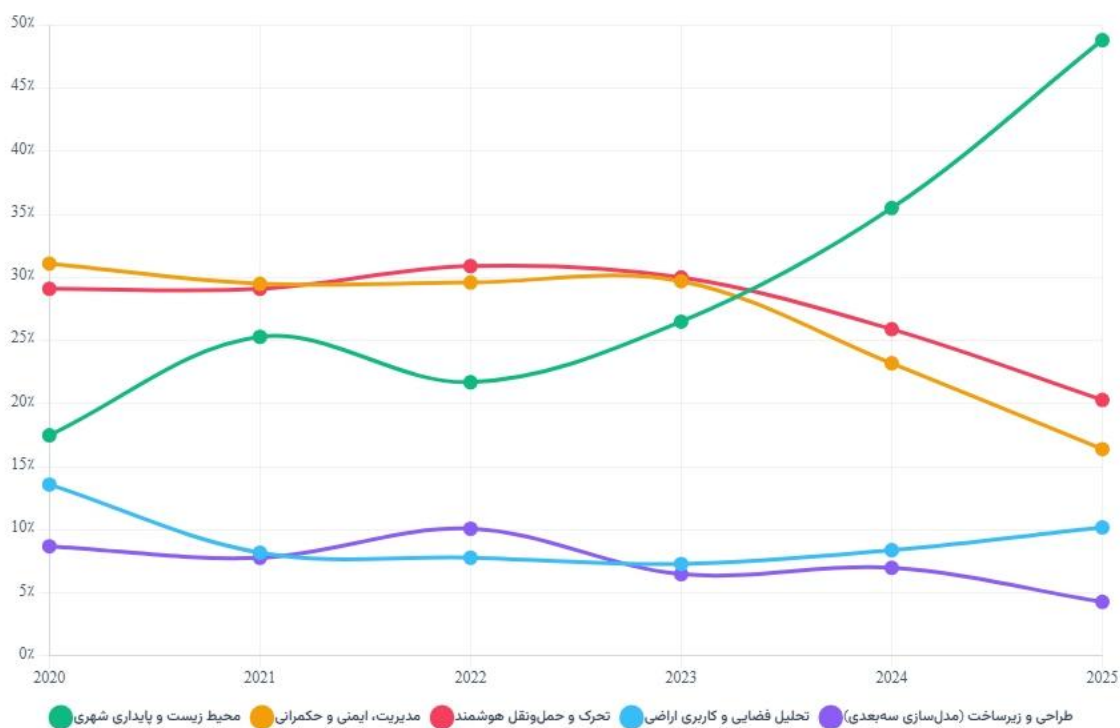


۲.۴. تحولات موضوعی و جابه‌جایی محورهای پژوهشی

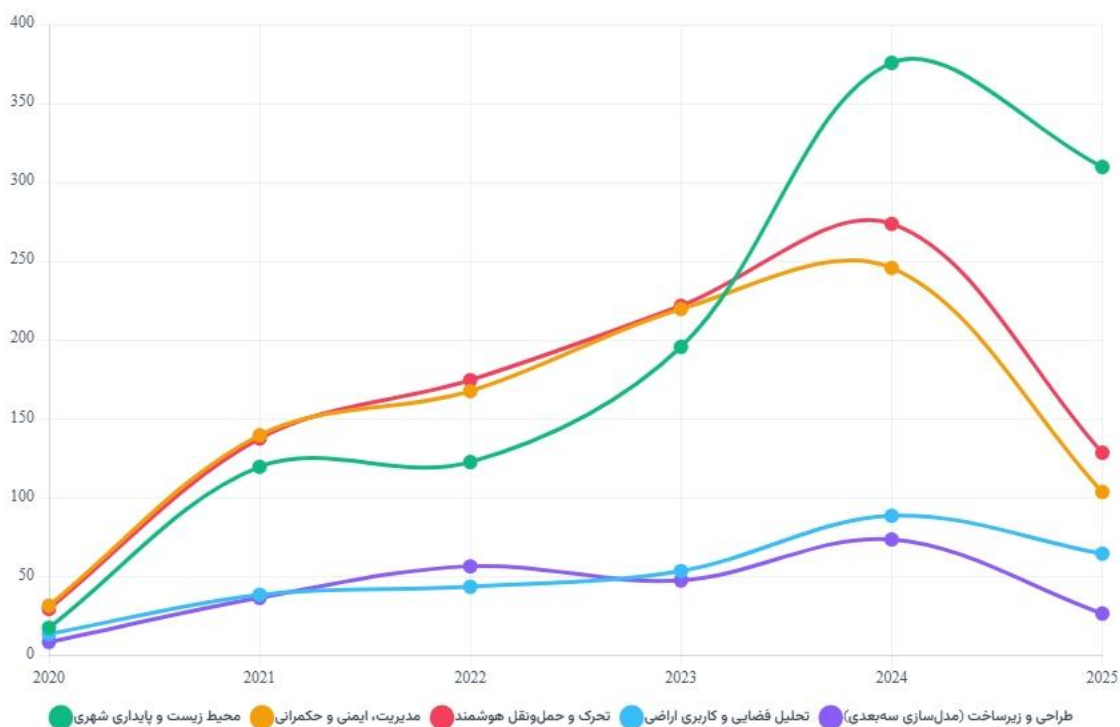
به منظور پاسخ به پرسش دوم پژوهش، روند تحول حوزه‌های موضوعی طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ از دو منظر سهم نسبی و تعداد مطلق مقالات بررسی شد. تغییرات سهم نسبی حوزه‌ها در شکل ۳ و روند تعداد مقالات در شکل ۴ نمایش داده شده است، در حالی

که داده‌های کمی مربوط به هر دو شاخص در جدول ۵ ارائه شده‌اند. همان‌گونه که داده‌ها نشان می‌دهند، سهم نسبی حوزه‌های موضوعی در طول دوره مطالعه ثابت نبوده و تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. حوزه محیط زیست و پایداری شهری از ۵.۱۷ درصد در سال ۲۰۲۰ به ۸.۴۸ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته و به‌ویژه در سال‌های پایانی به حوزه پیش‌تاز بلامنازع ادبیات تبدیل شده است. در مقابل، سهم حوزه مدیریت، ایمنی و حکمرانی از ۱.۳۱ درصد به ۴.۱۶ درصد و سهم حوزه تحرک و حمل‌ونقل هوشمند از ۱.۲۹ درصد به ۳.۲۰ درصد تغییر یافته است. طی همین دوره، سهم حوزه تحلیل فضایی و کاربری اراضی از ۶.۱۳ درصد به ۲.۱۰ درصد و سهم حوزه طراحی و زیرساخت شهری از ۷.۸ درصد به ۳.۴ درصد رسیده است. این تغییرات بیانگر بازآرایی تدریجی اولویت‌های پژوهشی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری است. افزایش مستمر سهم حوزه محیط زیست و پایداری شهری نشان می‌دهد که موضوعاتی نظیر پایداری، تغییرات اقلیمی، تاب‌آوری شهری و مدیریت محیطی به تدریج به محور اصلی پژوهش‌های این حوزه تبدیل شده‌اند. در مقابل، کاهش سهم نسبی حوزه‌های مدیریت، ایمنی و حکمرانی و تحرک و حمل‌ونقل هوشمند لزوماً به معنای کاهش فعالیت پژوهشی در این حوزه‌ها نیست، بلکه بیانگر رشد سریع‌تر سایر حوزه‌های موضوعی، به‌ویژه حوزه محیط زیست و پایداری شهری، است. بررسی تعداد مطلق مقالات نیز تصویری مکمل از این روند ارائه می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، تعداد مقالات در تمامی حوزه‌های موضوعی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ روندی کاملاً صعودی داشته است. برای نمونه، تعداد مقالات حوزه محیط زیست و پایداری شهری از ۱۸ مقاله در سال ۲۰۲۰ به ۳۷۶ مقاله در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است) رشد ۹.۱۹۸۸ درصدی. (در همین بازه، تعداد مقالات حوزه مدیریت، ایمنی و حکمرانی از ۳۲ به ۲۴۶ مقاله، حوزه تحرک و حمل‌ونقل هوشمند از ۳۰ به ۲۷۴ مقاله، حوزه تحلیل فضایی و کاربری اراضی از ۱۴ به ۸۹ مقاله و حوزه طراحی و زیرساخت شهری از ۹ به ۷۴ مقاله رسیده است. مقایسه هم‌زمان سهم نسبی و تعداد مطلق مقالات نشان می‌دهد که کاهش سهم برخی حوزه‌ها ناشی از افت تولیدات علمی آن‌ها نیست، بلکه نتیجه رشد نامتوازن حوزه‌های مختلف است. برای مثال، با وجود آنکه تعداد مقالات حوزه تحرک و حمل‌ونقل هوشمند از ۳۰ به ۲۷۴ مقاله افزایش یافته است، سهم نسبی این حوزه در کل ادبیات کاهش یافته؛ زیرا حوزه محیط زیست و پایداری شهری با نرخ رشد بسیار بالاتری گسترش یافته است. همین الگو در حوزه مدیریت، ایمنی و حکمرانی نیز مشاهده می‌شود که علی‌رغم افزایش چشمگیر تعداد مقالات، سهم نسبی آن در ترکیب کل تولیدات علمی کاهش یافته است. در تفسیر روندهای سال پایانی نیز باید احتیاط کرد. کاهش تعداد مقالات در سال ۲۰۲۵ الزاماً نشان‌دهنده افت واقعی فعالیت پژوهشی نیست، بلکه می‌تواند ناشی از تأخیر در نمایه‌سازی (Indexing Lag) مقالات در پایگاه‌های Web of Science و Scopus باشد. از این‌رو، روندهای مشاهده‌شده در سال ۲۰۲۵ باید با در نظر گرفتن این محدودیت تفسیر شوند.

شکل ۳. تغییرات سهم نسبی حوزه‌های موضوعی در ادبیات هوش مصنوعی شهری طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۵



شکل ۴. روند سالانه تعداد مقالات در پنج حوزه موضوعی ادبیات هوش مصنوعی شهری طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۵



جدول ۵. توزیع سالانه تولیدات علمی، سهم نسبی و نرخ رشد پنج حوزه موضوعی در ادبیات هوش مصنوعی شهری (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

نام حوزه / کلیدواژه	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵	نرخ رشد (۲۰۲۰-۲۰۲۵)	نرخ رشد (۲۰۲۴-۲۰۲۵)
محیط زیست و پایداری شهری (Urban Sustainability)	۱۸	۱۲۰	۱۲۳	۱۹۶	۳۷۶	۳۱۰	۱۶۲۲.۲٪	۱۹۸۸.۹٪
مدیریت، ایمنی و حکمرانی (Management & Governance)	۳۲	۱۴۰	۱۶۸	۲۲۰	۲۴۶	۱۰۴	۲۲۵.۰٪	۶۶۸.۸٪
تحرک و حمل و نقل هوشمند (Smart Mobility)	۳۰	۱۳۸	۱۷۵	۲۲۲	۲۷۴	۱۲۹	۳۳۰.۰٪	۸۱۳.۳٪
تحلیل فضایی و کاربری اراضی (Land Use & Spatial Analytics)	۱۴	۳۹	۴۴	۵۴	۸۹	۶۵	۳۶۴.۳٪	۵۳۵.۷٪
طراحی و زیرساخت (مدل سازی سه بعدی) (Urban Design & Infrastructure)	۹	۳۷	۵۷	۴۸	۷۴	۲۷	۲۰۰.۰٪	۷۲۲.۲٪
با کامل تطابق) سالانه کل مجموع (N=۳۵۷۸)	۱۰۳	۴۷۴	۵۶۷	۷۴۰	۱۰۵۹	۶۳۵	۵۱۶.۵٪	۹۲۸.۲٪

۳.۴. روندهای نوظهور و جبهه های تحقیقاتی

بررسی شاخص رشد نسبی هموارشده (RGI) نشان می دهد که روندهای نوظهور ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه ریزی شهری طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ عمدتاً پیرامون پنج حوزه موضوعی شکل گرفته اند. همان گونه که در جدول ۶ مشاهده

می‌شود، این مفاهیم علاوه بر برخورداری از فراوانی قابل توجه در مجموعه داده، بیشترین شدت رشد را نیز در فاصله میان دوره مبنا (۲۰۲۰-۲۰۲۲) و دوره اخیر (۲۰۲۳-۲۰۲۵) تجربه کرده‌اند.

از میان مفاهیم بررسی‌شده، Urban Resilience (تاب‌آوری شهری) با مقدار $RGI = 7.76$ بالاترین نرخ رشد را به خود اختصاص داده است. پس از آن، Carbon Emissions (انتشار آلاینده‌ها) با $RGI = 6.00$ ، Digital Twin (دوقلوی دیجیتال) با $RGI = 4.70$ ، Cybersecurity (امنیت سایبری) با $RGI = 3.37$ و Forestry (پایش جنگل‌ها و فضای سبز شهری) با $RGI = 3$ در رتبه‌های بعدی قرار دارند (جدول ۶). در مقابل، از نظر فراوانی کل مقالات، تاب‌آوری شهری، انتشار آلاینده‌ها و دوقلوی دیجیتال بیشترین حجم تولیدات علمی را در میان موضوعات نوظهور به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۶).

روند تغییرات سالانه این مفاهیم نیز الگوهای متفاوتی را آشکار می‌کند (شکل ۵). اگرچه تمامی موضوعات در دوره اخیر افزایش فراوانی را تجربه کرده‌اند، شیب رشد آن‌ها یکسان نیست. تاب‌آوری شهری و انتشار آلاینده‌ها از سال ۲۰۲۳ به بعد افزایش چشمگیری را نشان می‌دهند، در حالی که دوقلوی دیجیتال و امنیت سایبری روندی پیوسته‌تر اما با شتاب کمتر را طی کرده‌اند. مفهوم Forestry نیز با وجود فراوانی کمتر، در سال‌های پایانی دوره مطالعه رشد محسوسی را تجربه کرده است.

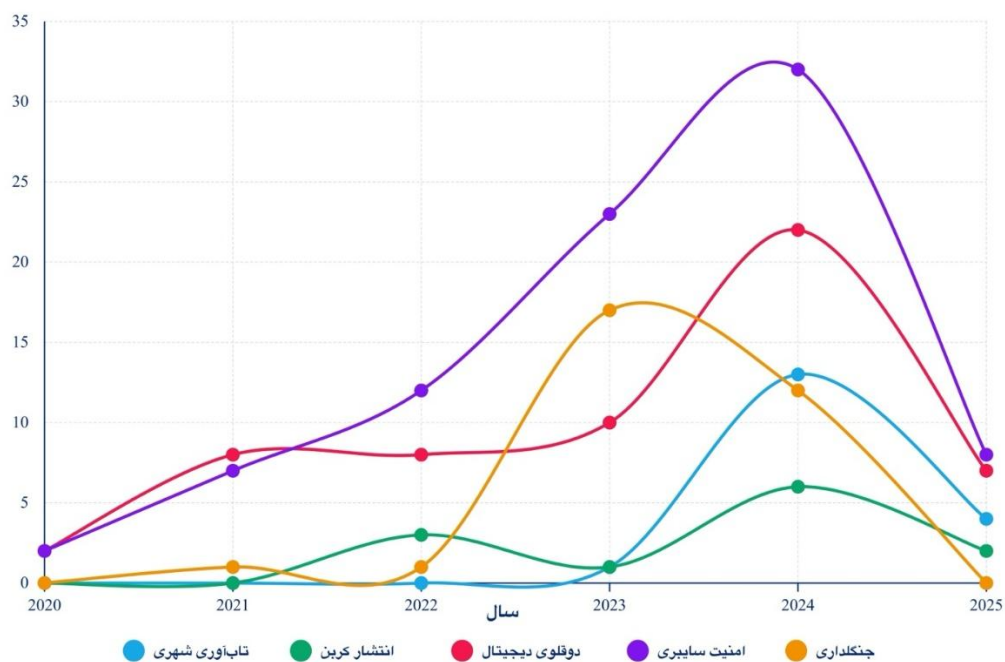
مقایسه مقادیر شاخص RGI (شکل ۶) نشان می‌دهد که شدت رشد مفاهیم نوظهور الزاماً با فراوانی کل آن‌ها یکسان نیست. برای مثال، Forestry با وجود تعداد مقالات کمتر، از نظر نرخ رشد در میان پنج موضوع برتر قرار گرفته است؛ در مقابل، برخی مفاهیم با فراوانی بیشتر، رشد نسبی ملایم‌تری را تجربه کرده‌اند. این تفاوت بیانگر آن است که شاخص RGI قادر است موضوعات در حال ظهور را مستقل از حجم مطلق تولیدات علمی شناسایی کند.

در مجموع، نتایج این بخش نشان می‌دهد که مهم‌ترین روندهای نوظهور ادبیات هوش مصنوعی شهری حول سه محور کلی تاب‌آوری و پایداری محیطی، بازنمایی دیجیتال شهر و امنیت زیرساخت‌های هوشمند متمرکز شده‌اند؛ محورهایی که بیشترین شتاب رشد را در دوره مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند.

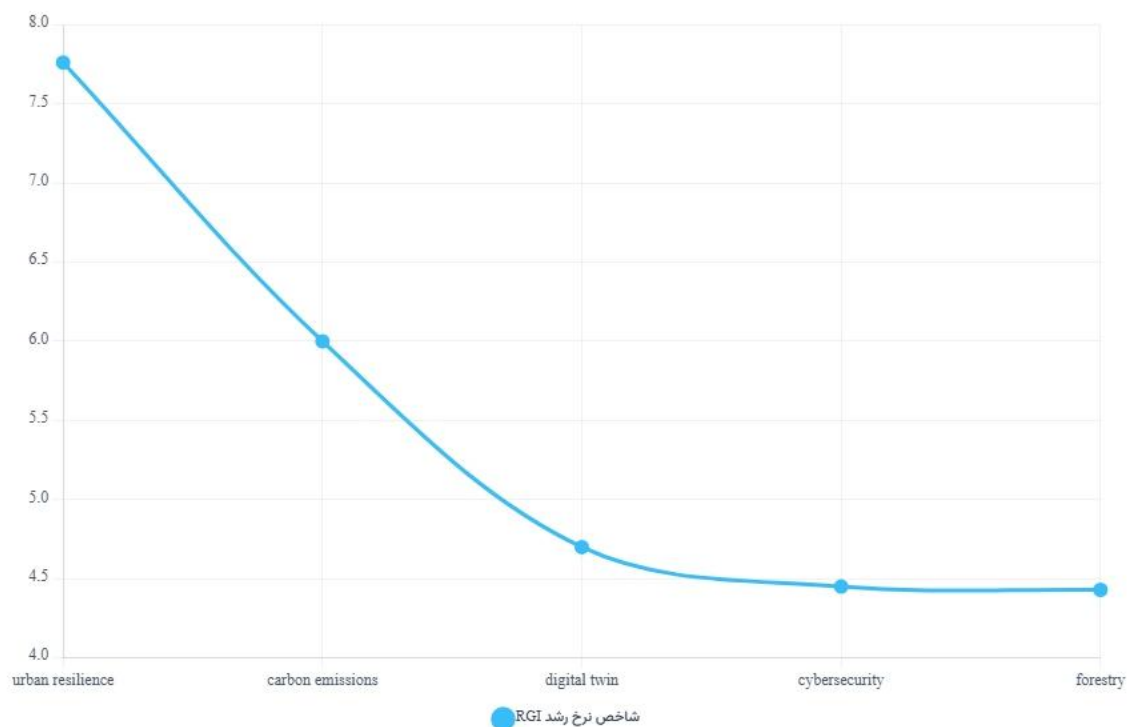
جدول ۶. فراوانی دوره‌ای و شاخص رشد نسبی هموارشده (RGI) مفاهیم نوظهور منتخب در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

تفسیر روند	شاخص رشد نسبی هموارشده (RGI)	فراوانی دوره اخیر (۲۰۲۳-۲۰۲۵) Frecent	فراوانی دوره مبنا (۲۰۲۰-۲۰۲۲) Fbase	کلیدواژه / مفهوم تخصصی
رشد واقعی و بسیار قوی	۷.۷۶	۱۴۴	۱۲	تاب‌آوری شهری (Urban Resilience)
رشد واقعی بالا	۶.۰۰	۱۳۵	۱۵	انتشار آلاینده‌ها (Carbon Emissions)
روند نوظهور واقعی	۴.۷۰	۱۲۶	۱۸	دوقلوی دیجیتال (Digital Twin)
روند نوظهور در حکمرانی شهری	۳.۳۷	۷۸	۱۴	امنیت سایبری (Cybersecurity)
روند نوظهور محیطی	۳.۰۰	۳۱	۴	پایش و مدیریت جنگل‌ها و فضای سبز (Forestry)

شکل ۵. روند زمانی مفاهیم نوظهور منتخب (۲۰۲۵-۲۰۲۰)



شکل ۶. مقایسه شاخص رشد نسبی هموارشده (RGI) مفاهیم نوظهور منتخب (۲۰۲۵-۲۰۲۰)



۴.۴. گذارهای معرفت‌شناختی و منطق تولید دانش

تحلیل پارادایم‌های معرفت‌شناختی نشان می‌دهد که پژوهش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ عمدتاً بر رویکردهای داده‌محور و پیش‌بینانه استوار بوده‌اند. همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، از مجموع ۳,۵۷۸ مقاله بررسی شده، ۲,۷۸۱ مقاله (۷۷.۷ درصد) در پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه طبقه‌بندی شدند. پس از آن، پارادایم زایشی و مبتنی بر هوش مصنوعی نوین با ۲۹۶ مقاله (۸.۳ درصد)، پارادایم آماری و تحلیلی کلاسیک با ۹۹ مقاله (۲.۸ درصد) و پارادایم شبیه‌سازی و مبتنی بر قانون با ۷۳ مقاله (۲.۰ درصد) قرار گرفتند. همچنین، ۳۲۹ مقاله (۹.۲ درصد) به دلیل ماهیت مفهومی یا مروری و فقدان روش تحلیلی مشخص، در هیچ‌یک از چهار پارادایم معرفت‌شناختی جای نگرفتند. بررسی روند زمانی پارادایم‌ها نشان می‌دهد که پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه در سراسر دوره مطالعه جایگاه غالب خود را حفظ کرده است (جدول ۷). اگرچه سهم نسبی این پارادایم در سال‌های پایانی اندکی کاهش یافته است (شکل ۷)، تعداد مطلق مقالات آن همچنان روندی افزایشی داشته که بیانگر تداوم گسترش استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و مدل‌های پیش‌بینی در مطالعات شهری است (شکل ۷). در مقابل، پارادایم زایشی و مبتنی بر هوش مصنوعی نوین از سال ۲۰۲۳ به بعد روندی صعودی را تجربه کرده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). افزایش تدریجی فراوانی و سهم نسبی این پارادایم نشان می‌دهد که مدل‌های مولد، مدل‌های زبانی بزرگ (LLMs)، دوقلوهای دیجیتال و طراحی مولد به تدریج در حال ورود به جریان اصلی پژوهش‌های هوش مصنوعی شهری هستند. در همین بازه، پارادایم‌های آماری و تحلیلی کلاسیک و نیز شبیه‌سازی و مبتنی بر قانون، در مقایسه با دو پارادایم دیگر، سهم محدودتری از تولیدات علمی را به خود اختصاص داده‌اند. توزیع پارادایم‌های معرفت‌شناختی در پنج حوزه موضوعی نیز الگوی مشابهی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه در تمامی حوزه‌های موضوعی بیشترین فراوانی را دارد، هرچند شدت غلبه آن در خوشه‌های مختلف متفاوت است. در مقابل، پارادایم زایشی در حوزه‌هایی مانند طراحی و زیرساخت شهری و مدیریت، ایمنی و حکمرانی حضور پررنگ‌تری دارد، در حالی که پارادایم‌های آماری و شبیه‌سازی در همه حوزه‌ها سهم محدودی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸).

در مجموع، نتایج این بخش بیانگر آن است که ساختار روش‌شناختی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری طی سال‌های اخیر عمدتاً بر تحلیل داده، یادگیری الگوریتمی و مدل‌های پیش‌بینی استوار بوده است. در عین حال، رشد تدریجی پارادایم زایشی از سال ۲۰۲۳ به بعد نشان می‌دهد که رویکردهای مبتنی بر تولید محتوا، سناریوسازی و طراحی هوشمند نیز به تدریج در حال تثبیت جایگاه خود در این حوزه هستند.

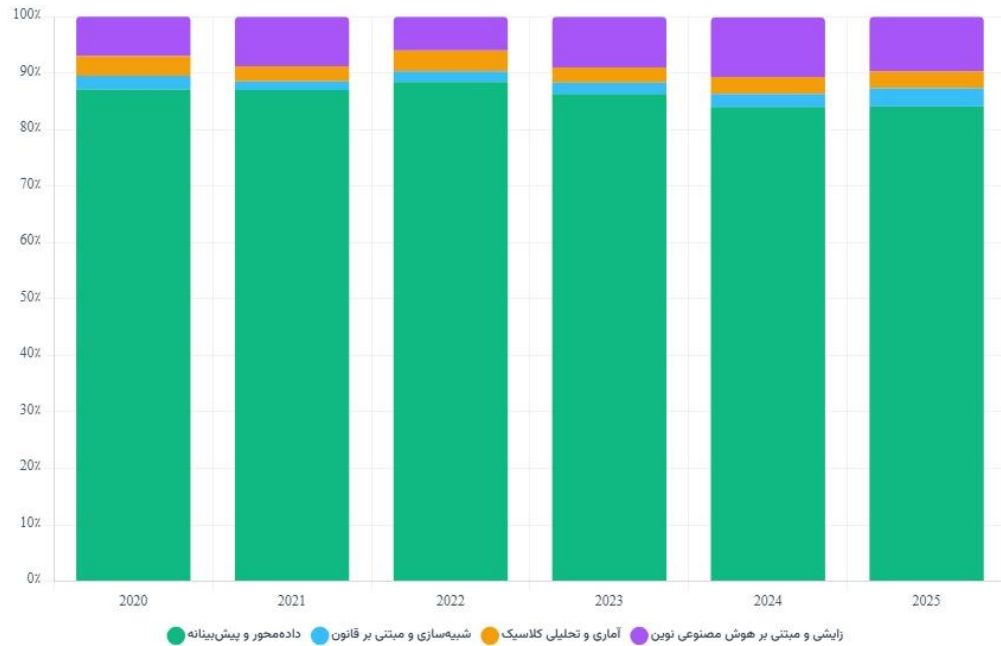
جدول ۷. فراوانی و سهم نسبی پارادایم‌های معرفت‌شناختی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و

مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵، $N=3,578$)

پارادایم معرفتی	تعداد مقالات	درصد از کل $N=3578$	منطق روش‌شناختی و معرفتی
داده‌محور و پیش‌بینانه	۲,۷۸۱	۷۷.۷٪	غلبه یادگیری عمیق، کلان‌داده و الگوریتم‌های پیش‌بینی
زایشی و مبتنی بر هوش مصنوعی نوین	۲۹۶	۸.۳٪	مدل‌های مولد (GANS)، دوقلوهای دیجیتال و LLM ها
آماري و تحلیلی کلاسیک	۹۹	۲.۸٪	رگرسیون فضایی، GWR و تحلیل‌های آماری کلاسیک
شبیه‌سازی و مبتنی بر قانون	۷۳	۲.۰٪	مدلسازی عامل مبنا (ABM) و اتوماتای سلولی (CA)
جمع کل مقالات دارای برچسب روشی	۳,۲۴۹	۹۰.۸٪	مقالات دارای کدگذاری روش‌شناختی مشخص
مقالات مفهومی/کیفی فاقد برچسب روشی	۳۲۹	۹.۲٪	مقالات مروری و مفهومی محض فاقد کدگذاری روشی

شکل ۷. تغییرات سهم نسبی پارادایم‌های معرفت‌شناختی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و

مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵)



شکل ۸. توزیع پارادایم‌های معرفت‌شناختی در پنج حوزه موضوعی ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند

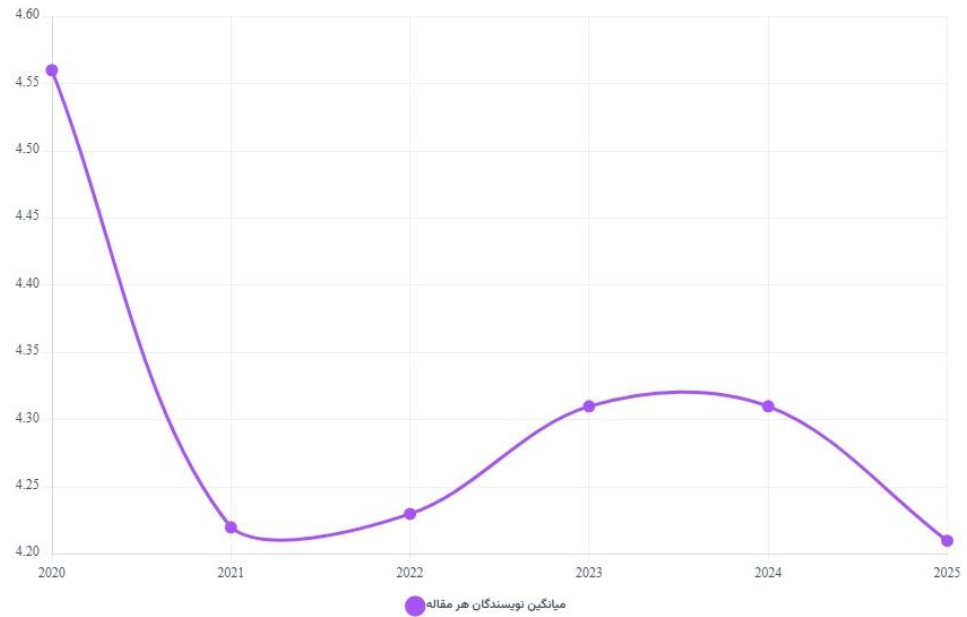


۵.۴. تحول همکاری علمی و میان‌رشته‌ای شدن حوزه

نتایج مربوط به الگوهای همکاری علمی نشان می‌دهد که تولید دانش در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری عمدتاً در قالب پژوهش‌های چندنویسنده‌ای انجام شده است. میانگین تعداد نویسندگان هر مقاله در طول دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ بین ۴.۲ تا ۴.۵ نفر متغیر بوده که بیانگر غلبه الگوی پژوهش‌های تیم‌محور در این حوزه است (شکل ۹). همچنین، مقدار شاخص تنوع استیرلینگ-رائو (Stirling-Rao Diversity Index) برابر با ۰.۷۴ و توزیع رده‌های موضوعی Web of Science شامل مطالعات شهری (۲۸ درصد)، علوم کامپیوتر (۲۴ درصد) و علوم محیطی (۲۲ درصد)، از سطح بالای تعامل میان رشته‌های مختلف در تولید دانش این حوزه حکایت دارد (جدول ۸). روند زمانی شاخص همکاری نشان می‌دهد که میانگین تعداد نویسندگان پس از کاهش نسبی در سال ۲۰۲۱، تا سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ روندی افزایشی داشته و در سال ۲۰۲۵ اندکی کاهش یافته است (شکل ۹). با وجود این نوسانات، مقدار شاخص در تمامی سال‌های دوره مطالعه در سطحی نسبتاً بالا باقی مانده است که بیانگر تداوم غلبه همکاری‌های گروهی در تولید پژوهش‌های این حوزه است. بررسی توزیع نویسندگان پرتولید نیز نشان می‌دهد که تولیدات علمی میان تعداد زیادی از پژوهشگران توزیع شده و تمرکز اندکی بر افراد خاص وجود دارد. همان‌گونه که در جدول ۸ و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، پرتولیدترین پژوهشگر لی با ۲۶ مقاله تنها ۰.۷ درصد از کل مقالات را به خود اختصاص داده است. پس از وی، وانگ با ۲۳ مقاله، لیو با ۲۲ مقاله و لی و ژانگ هر یک با ۲۰ مقاله قرار دارند. سهم پایین حتی فعال‌ترین پژوهشگران نشان می‌دهد که تولید دانش در این حوزه بر شبکه‌ای گسترده از پژوهشگران و همکاری‌های علمی استوار است و وابستگی اندکی به افراد یا گروه‌های محدود دارد.

در مجموع، نتایج این بخش نشان می‌دهد که ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری در بستری میان‌رشته‌ای و مبتنی بر همکاری‌های علمی توسعه یافته است. میانگین نسبتاً بالای تعداد نویسندگان در هر مقاله، مقدار شاخص تنوع استیرلینگ-رائو و پراکندگی مناسب مشارکت میان پژوهشگران، همگی بیانگر آن هستند که تولید دانش در این حوزه بر تعامل میان تخصص‌های مختلف و همکاری‌های پژوهشی گسترده استوار است.

شکل ۹. روند تغییرات میانگین تعداد نویسندگان در هر مقاله (شاخص همکاری) در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

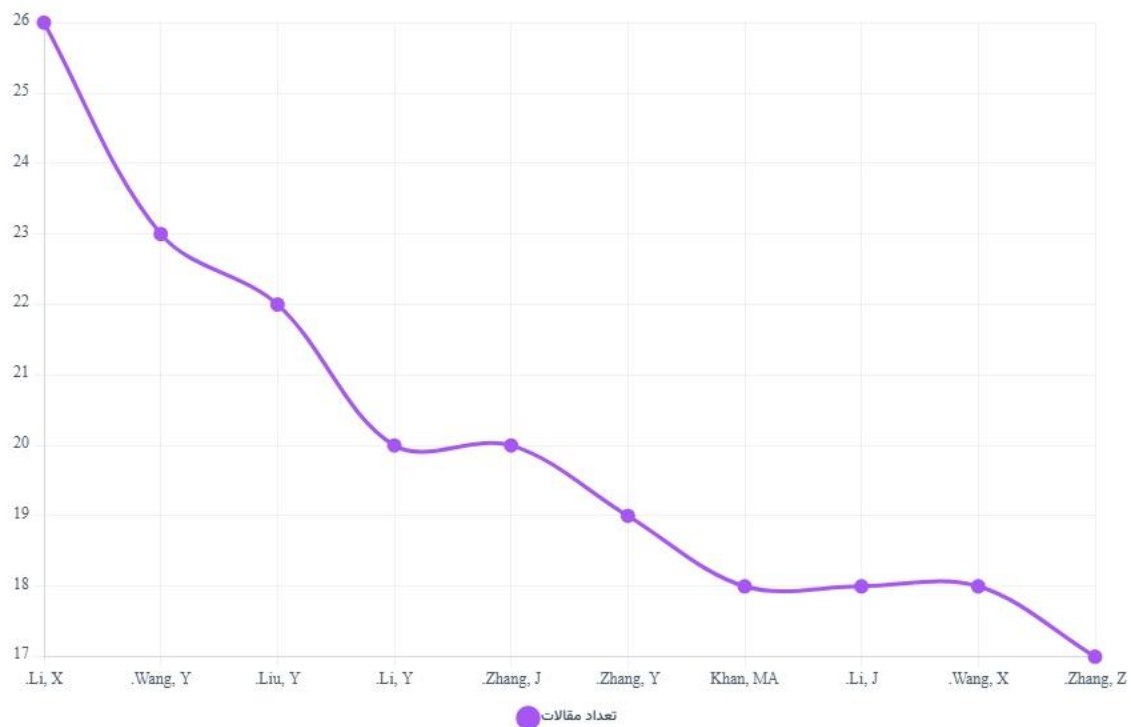


جدول ۸. نویسندگان پیشرو بر اساس تعداد مقالات و سهم مشارکت در تولید دانش حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۵-۲۰۲۰)

ردیف	نام نویسنده	تعداد مقالات	درصد مشارکت
۱	Li, X.	۲۶	۰.۷٪
۲	Wang, Y.	۲۳	۰.۶٪
۳	Liu, Y.	۲۲	۰.۶٪
۴	Li, Y.	۲۰	۰.۶٪
۵	Zhang, J.	۲۰	۰.۶٪
۶	Zhang, Y.	۱۹	۰.۵٪

ردیف	نام نویسنده	تعداد مقالات	درصد مشارکت
۷	Khan, M.A.	۱۸	۰.۵٪
۸	Li, J.	۱۸	۰.۵٪
۹	Wang, X.	۱۸	۰.۵٪
۱۰	Zhang, Z.	۱۷	۰.۵٪

شکل ۱۰. مقایسه تعداد مقالات ده نویسنده پیشرو در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵)



۶.۴. الگوی جغرافیایی و تمرکز تولید دانش

تحلیل توزیع جغرافیایی تولید دانش بر اساس وابستگی سازمانی نویسندگان نشان می‌دهد که پژوهش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری به‌طور محسوسی در تعداد محدودی از کشورها متمرکز شده‌اند. در این روش، هر کشور بر اساس وابستگی سازمانی نویسندگان مقالات شمارش شده است؛ از این‌رو، در مقالات حاصل از همکاری‌های بین‌المللی، یک مقاله می‌تواند به بیش از یک کشور منتسب شود و در نتیجه، مجموع مشارکت‌های کشورها الزاماً با تعداد کل مقالات برابر نیست. همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، چین با ۱,۰۱۷ مشارکت (۲۸.۴ درصد) در جایگاه نخست قرار دارد. پس از آن، ایالات متحده آمریکا با ۷۷۸ مشارکت (۲۱.۷ درصد) و هند با ۵۵۸ مشارکت (۱۵.۶ درصد) رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده‌اند. عربستان سعودی با ۳۶۲ مشارکت (۱۰.۱ درصد)، کره جنوبی با ۲۰۰ مشارکت (۵.۶ درصد) و استرالیا با ۱۸۶ مشارکت (۵.۲ درصد) نیز در میان کشورهای پیشرو این حوزه قرار دارند. کانادا، ایتالیا، بریتانیا و اسپانیا نیز با سهمی کمتر، اما همچنان قابل‌توجه، در جمع ده کشور نخست تولیدکننده دانش قرار گرفته‌اند (جدول ۹).

توزیع مشارکت‌ها نشان می‌دهد که فاصله محسوسی میان سه کشور نخست و سایر کشورها وجود دارد. چین به‌تنهایی بیش از یک‌چهارم کل مشارکت‌های علمی را به خود اختصاص داده و در کنار ایالات متحده آمریکا و هند، بخش عمده تولیدات علمی این حوزه را شکل داده است (شکل ۱۵). در مقابل، سهم سایر کشورهای پیشرو به‌مراتب کمتر بوده و روندی نزولی را نشان می‌دهد که بیانگر تمرکز قابل‌توجه ظرفیت تولید دانش در تعداد محدودی از کشورها است. در عین حال، حضور کشورهایی از شرق آسیا، آمریکای شمالی، اروپا، اقیانوسیه و خاورمیانه در میان ده کشور نخست نشان می‌دهد که پژوهش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری در مقیاس جهانی گسترش یافته‌اند، هرچند شدت مشارکت کشورها همچنان یکسان نیست (جدول ۹). در مجموع، نتایج این بخش بیانگر آن است که اگرچه تولید دانش در این حوزه از نظر جغرافیایی در مناطق مختلف جهان گسترش یافته است، الگوی مشارکت علمی همچنان از تمرکز قابل‌توجهی برخوردار است و سهم عمده تولیدات علمی در اختیار تعداد محدودی از کشورها قرار دارد.

جدول ۹. کشورهای پیشرو بر اساس تعداد مشارکت‌های سازمانی و سهم آن‌ها از کل مشارکت‌های علمی در پژوهش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند (۲۰۲۰-۲۰۲۵)

ردیف	نام کشور	تعداد مشارکت‌های سازمانی	سهم درصدی
۱	China	۱۰۱۷	۲۸.۴٪

ردیف	نام کشور	تعداد مشارکت‌های سازمانی	سهم درصدی
۲	USA	۷۷۸	۲۱.۷٪
۳	India	۵۵۸	۱۵.۶٪
۴	Saudi Arabia	۳۶۲	۱۰.۱٪
۵	South Korea	۲۰۰	۵.۶٪
۶	Australia	۱۸۶	۵.۲٪
۷	Canada	۱۵۹	۴.۴٪
۸	Italy	۱۵۴	۴.۳٪
۹	UK	۱۴۶	۴.۱٪
۱۰	Spain	۱۲۱	۳.۴٪

۵. بحث

نتایج پژوهش حاضر را می‌توان در امتداد مسئله نظری مطرح‌شده در مقدمه تفسیر کرد؛ مسئله‌ای که ناظر بر این بود که آیا گسترش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مطالعات برنامه‌ریزی شهری و شهرهای هوشمند صرفاً به توسعه ابزارهای تحلیلی منجر شده است یا با تغییر در منطق تولید دانش نیز همراه بوده است. نتایج نشان می‌دهند که تحولات مشاهده‌شده را نمی‌توان فقط به افزایش حجم تولیدات علمی یا گسترش کاربردهای فناوریانه فروکاست. آنچه در فاصله ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ دیده می‌شود، نوعی بازآرایی درون‌حوزه‌ای در ادبیات هوش مصنوعی شهری است که در آن تغییرات موضوعی، جابه‌جایی اولویت‌های پژوهشی و تحول در منطق‌های استنتاجی به‌طور هم‌زمان رخ داده‌اند. بالاین‌حال، این نتایج به معنای اثبات یک گذار تاریخی در کل رشته برنامه‌ریزی

شهری نیستند؛ بلکه نشان می‌دهند که در درون ادبیات هوش مصنوعی شهری، ساختار و جهت‌گیری تولید دانش در حال تغییر است.

نخستین نشانه این بازآرایی را می‌توان در تغییر تدریجی مرکز ثقل موضوعی ادبیات مشاهده کرد. غلبه حوزه محیط زیست و پایداری شهری و رشد سریع موضوعاتی مانند تاب‌آوری شهری، انتشار آلاینده‌ها و فناوری‌های دیجیتال نشان می‌دهد که ارزش هوش مصنوعی در ادبیات جدید بیش از گذشته در نسبت با حل مسائل پیچیده شهری تعریف می‌شود، نه صرفاً در افزایش کارایی ابزارهای محاسباتی. در نخستین نسل مطالعات شهر هوشمند، فناوری غالباً بر اساس اتصال‌پذیری، توسعه زیرساخت دیجیتال و بهینه‌سازی عملکرد سامانه‌ها ارزیابی می‌شد؛ اما نتایج حاضر نشان می‌دهند که اکنون بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌ها هوش مصنوعی را در پیوند با سازگاری اقلیمی، مدیریت انرژی، کاهش انتشار کربن و تاب‌آوری شهری بررسی می‌کنند. از این منظر، می‌توان از حرکت تدریجی از «فناوری‌محوری» به «مسئله‌محوری» سخن گفت. این برداشت با مطالعاتی هم‌راستا است که بر همگرایی هوش مصنوعی، کلان‌داده و برنامه‌ریزی شهری پایدار تأکید کرده‌اند (Yigitcanlar et al., ۲۰۲۰; Bibri, ۲۰۲۱; Son et al., ۲۰۲۳). باین‌حال، نتایج پژوهش حاضر دو نکته را روشن‌تر می‌کنند. نخست آنکه رشد حوزه‌ها یکنواخت نیست و برخی موضوعات مانند تاب‌آوری شهری، امنیت سایبری و دوقلوی دیجیتال با شتاب بیشتری نسبت به حوزه‌های تثبیت‌شده رشد کرده‌اند. دوم آنکه کاهش سهم نسبی یک حوزه الزاماً به معنای افت تولید علمی آن نیست. برای نمونه، تحرک و حمل‌ونقل هوشمند همچنان از نظر تعداد مطلق مقالات رشد داشته است، اما در مقایسه با حوزه‌هایی مانند پایداری، با سرعت کمتری توسعه یافته است. بنابراین، تحول مشاهده‌شده را بهتر است «گسترش نامتوازن حوزه‌ها» دانست تا جایگزینی کامل یک دستورکار پژوهشی با دستورکاری دیگر. در همین چارچوب، جایگاه همچنان برجسته تحرک و حمل‌ونقل هوشمند نشان می‌دهد که کاربردهای تثبیت‌شده هوش مصنوعی، از پیش‌بینی ترافیک و مدیریت ازدحام تا بهینه‌سازی مسیر و توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، همچنان یکی از ارکان اصلی این حوزه‌اند. این یافته با نتایج بهزادفر و همکاران (۲۰۲۶) نیز هم‌راستا است؛ آنان در تحلیل کتاب‌سنجی جداگانه‌ای از ادبیات حمل‌ونقل پایدار نشان دادند که وسایل نقلیه برقی و سامانه‌های تحرک اشتراکی از مهم‌ترین روندهای نوظهورند، در حالی که موضوعاتی مانند عدالت اجتماعی در حمل‌ونقل همچنان کمتر بررسی شده باقی مانده‌اند. این نکته اخیر با یافته پژوهش حاضر درباره اهمیت فزاینده عدالت و نابرابری در ادبیات هوش مصنوعی شهری نیز سازگار است. تفاوت آن است که این مسائل دیگر به‌صورت مستقل و صرفاً مهندسی صورت‌بندی نمی‌شوند، بلکه به‌طور فزاینده‌ای با مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌ها، الگوهای کاربری زمین، عدالت دسترسی و حکمرانی داده پیوند می‌خورند. به بیان دیگر، دستورکارهای پیشین حذف نشده‌اند، بلکه در شبکه‌ای وسیع‌تر از مسائل شهری بازتعریف شده‌اند.

حضور پررنگ حوزه مدیریت، ایمنی و حکمرانی نیز نشان می‌دهد که ادبیات هوش مصنوعی شهری به پیامدهای نهادی و حکمرانی فناوری توجه بیشتری پیدا کرده است. وابستگی روزافزون شهرها به حسگرها، پلتفرم‌های داده‌ای، سامانه‌های تصمیم‌یار و مدل‌های پیش‌بینی، مسئله مدیریت شهری را بیش از گذشته با امنیت داده، حریم خصوصی، اعتماد، شفافیت و پاسخ‌گویی الگوریتمی پیوند داده است. این برداشت با دیدگاه‌های کیچین در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ درباره عقلانیت الگوریتمی و با تحلیل لسچنسکی در سال ۲۰۲۰ درباره وابستگی زندگی شهری به زیرساخت‌های دیجیتال هم‌خوان است. در همین راستا، مطالعه کیچین و مور-چری در سال ۲۰۲۱ نیز نشان می‌دهد که حکمرانی اکوسیستم داده در مناطق شهر هوشمند اغلب ماهیتی پراکنده و چندنهادی دارد و همین امر ضرورت توجه به هماهنگی نهادی در کنار توسعه فنی سامانه‌های هوشمند را برجسته می‌سازد. در این معنا، پرسش پژوهشی از «چگونه مدل دقیق‌تری بسازیم؟» به سمت «این مدل چگونه باید ارزیابی، اداره و پاسخ‌گو شود؟» در حال حرکت است. این تحول همچنین با مفهوم AI Urbanism قابل تفسیر است. کاگورولو و همکاران در سال ۲۰۲۴ استدلال می‌کنند که هوش مصنوعی در شهرهای معاصر دیگر صرفاً ابزار مکمل مدیریت شهری نیست، بلکه می‌تواند در سازمان‌دهی، برنامه‌ریزی و تجربه شهر نقش فعال‌تری پیدا کند. نتایج پژوهش حاضر نیز با این دیدگاه هم‌خوان‌اند، زیرا نشان می‌دهند موضوعاتی مانند امنیت سایبری، حکمرانی داده و سامانه‌های تصمیم‌یار در حاشیه ادبیات قرار ندارند، بلکه بخشی از هسته اصلی آن شده‌اند. باین‌حال، این هم‌خوانی باید محتاطانه تفسیر شود؛ زیرا پژوهش حاضر قدرت، مشروعیت تصمیم‌ها یا پیامدهای واقعی حکمرانی الگوریتمی را مستقیماً اندازه‌گیری نکرده است.

بعد دیگر این بازآرایی در تقویت جایگاه تحلیل فضایی و فناوری‌های مبتنی بر داده‌های مکانی دیده می‌شود. توسعه GeoAI نشان داده است که داده‌های جغرافیایی دیگر صرفاً برای توصیف و ترسیم فضا به کار نمی‌روند، بلکه به مبنایی برای کشف الگو، پیش‌بینی تغییرات و مدل‌سازی آینده‌های مکانی تبدیل شده‌اند. این تحول با دیدگاه ژانویکس و همکاران در سال ۲۰۲۰ و مسیرهای جدید مطرح‌شده در GeoAI، از جمله مدل‌های پایه جغرافیایی، تفسیرپذیری و عدالت داده، هم‌راستا است (Mai et al., ۲۰۲۵). از این منظر، تحول GeoAI را می‌توان هم‌زمان فنی و معرفت‌شناختی دانست، زیرا کیفیت داده، مقیاس تحلیل و نحوه بازنمایی فضا بر آنچه درباره شهر قابل شناخت است اثر می‌گذارد.

در سطح مفاهیم نوظهور، رشد تاب‌آوری شهری، دوقلوی دیجیتال و امنیت سایبری سه جهت‌گیری مهم را برجسته می‌کند: مدیریت نااطمینانی، بازنمایی پویا و سناریومحور شهر، و حکمرانی زیرساخت‌های دیجیتال. رشد تاب‌آوری نشان می‌دهد که توجه ادبیات از مدیریت شرایط عادی به سمت پیش‌بینی، سازگاری و بازیابی در شرایط بحران حرکت کرده است. رشد دوقلوی دیجیتال نیز بیانگر گذار از بازنمایی ایستا به مدل‌های بلادرنگ، تعاملی و سناریومحور است؛ روندی که با گسترش هوش مصنوعی مولد و مدل‌های

چندوجهی نیز هم‌زمان شده است (Xu et al., ۲۰۲۴; Zhang et al., ۲۰۲۴). در سوی دیگر، رشد امنیت سایبری نشان می‌دهد که هرچه ظرفیت شناخت و کنترل دیجیتال شهر بیشتر می‌شود، مخاطرات مربوط به حریم خصوصی، اعتماد و تداوم خدمات عمومی نیز اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند (UN-Habitat, ۲۰۲۲).

در سطح معرفت‌شناختی، غلبه پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه نشان می‌دهد که بخش عمده ادبیات مورد بررسی بر استخراج الگو، یادگیری از داده و پیش‌بینی استوار است. این یافته با بحث بتی در سال ۲۰۲۶ درباره حرکت از مدل‌های قیاسی و نظری به مدل‌های استقرایی و داده‌محور هم‌خوان است، اما به معنای حذف نظریه، تحلیل آماری یا شبیه‌سازی نیست. طبقه‌بندی تک‌برچسبی تنها منطق غالب هر مقاله را ثبت کرده است و بسیاری از مطالعات ممکن است به‌صورت ترکیبی از چند روش بهره برده باشند. بنابراین، آنچه تغییر کرده، نه حذف سایر رویکردها، بلکه جابه‌جایی وزن نسبی منطق‌های تولید دانش است. در مقابل، رشد تدریجی رویکردهای زایشی نشان می‌دهد که هوش مصنوعی شهری در حال حرکت از «تحلیل و پیش‌بینی» به سمت «تولید سناریو و گزینه» است. این تحول، معیارهای ارزیابی را نیز تغییر می‌دهد. در حالی که در نسل پیشین، دقت پیش‌بینی و قدرت طبقه‌بندی در مرکز توجه بود، اکنون پرسش‌هایی درباره اعتبار سناریوهای تولیدشده، ارزش‌های نهفته در خروجی‌ها، مسئولیت پیشنهادی الگوریتمی و قابلیت توضیح‌پذیری آن‌ها مطرح شده‌اند. از این منظر، نقش برنامه‌ریز حذف نمی‌شود، بلکه بازتعریف می‌شود؛ برنامه‌ریز به تدریج به واسطه‌ای میان داده، مدل، قواعد نهادی و ارزش‌های عمومی تبدیل می‌شود.

نتایج مربوط به همکاری علمی نیز نشان می‌دهند که تولید دانش در این حوزه ماهیتی میان‌رشته‌ای یافته است. اندازه تیم پژوهشی به‌تنهایی برای اثبات میان‌رشته‌ای بودن کافی نیست، اما همراهی آن با تنوع رده‌های موضوعی و شاخص استیرلینگ-رائو نشان می‌دهد که هوش مصنوعی شهری در تعامل میان شهرسازی، علوم کامپیوتر، علوم محیطی و سایر حوزه‌های مرتبط شکل گرفته است. در مقابل، توزیع جغرافیایی تولید دانش همچنان متمرکز است. این تمرکز می‌تواند با تفاوت کشورها در زیرساخت داده، ظرفیت محاسباتی و سرمایه‌گذاری پژوهشی مرتبط باشد، هرچند این عوامل در پژوهش حاضر مستقیماً اندازه‌گیری نشده‌اند. اهمیت این یافته در آن است که جغرافیای تولید دانش می‌تواند بر نوع مسائل تعریف‌شده، داده‌های مورد استفاده و قابلیت تعمیم مدل‌ها اثر بگذارد. از این رو، عدالت در هوش مصنوعی شهری را نمی‌توان فقط در سطح خروجی مدل‌ها بررسی کرد. دسترسی به داده، ظرفیت تولید مدل، توان محاسباتی و امکان مشارکت در تعریف مسئله نیز بخشی از مسئله عدالت هستند. این موضوع برای شهرهای جنوب جهانی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا ممکن است مصرف‌کننده مدل‌ها و استانداردهایی باشند که در زمینه‌های اجتماعی و نهادی متفاوت توسعه یافته‌اند.

در مجموع، سهم اصلی پژوهش حاضر در آن است که نشان می‌دهد تحلیل علم‌سنجی، اگر با تفسیر مفهومی و معرفت‌شناختی ترکیب شود، می‌تواند فراتر از توصیف فراوانی‌ها و شبکه‌ها عمل کند و نشانه‌هایی از تغییر در منطق‌های غالب تولید دانش ارائه دهد. بر این اساس، هوش مصنوعی در ادبیات برنامه‌ریزی شهری به تدریج از مجموعه‌ای از ابزارهای تحلیلی به بخشی از زیرساخت تولید دانش و پشتیبانی از تصمیم‌سازی تبدیل می‌شود. این تعبیر باید در محدوده شواهد پژوهش و به صورت تفسیری فهمیده شود، نه به عنوان اثبات مستقیم تغییر در مناسبات قدرت یا حکمرانی.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تحولات موضوعی و گذارهای معرفت‌شناختی در ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و مطالعات شهر هوشمند طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. برخلاف بخش عمده مطالعات علم‌سنجی که عمدتاً به توصیف ساختارهای استنادی، شبکه‌های همکاری یا روندهای انتشار محدود می‌شوند، این پژوهش کوشید الگوهای کتاب‌سنجی را در پرتو مباحث نظری برنامه‌ریزی شهری، حکمرانی داده و شهر هوشمند تفسیر کند. مهم‌ترین دستاورد پژوهش آن است که نشان می‌دهد رشد ادبیات هوش مصنوعی شهری را می‌توان نشانه‌ای از بازآرایی درونی منطق تولید دانش در این حوزه دانست؛ به این معنا که هوش مصنوعی در ادبیات بررسی‌شده به تدریج از جایگاه یک ابزار تحلیلی فراتر رفته و به عنوان بخشی از زیرساخت معرفتی تولید دانش و پشتیبانی از تصمیم‌سازی شهری قابل تفسیر است. البته این برداشت، تفسیری نظری مبتنی بر شواهد علم‌سنجی است و نه ادعایی درباره تغییر تجربی یا قطعی در کل رشته برنامه‌ریزی شهری یا نظام حکمرانی شهری.

نتایج پژوهش نشان دادند که محیط زیست و پایداری شهری، با سهم ۳۱٫۹ درصد، بزرگ‌ترین حوزه موضوعی ادبیات را تشکیل می‌دهد و در کنار آن، موضوعاتی مانند تاب‌آوری شهری، دوقلوی دیجیتال و امنیت سایبری با بیشترین نرخ رشد نسبی در حال ظهور هستند. در سطح معرفت‌شناختی نیز پارادایم داده‌محور و پیش‌بینانه با سهم ۷۷٫۷ درصد همچنان چارچوب غالب تولید دانش را تشکیل می‌دهد، در حالی که رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی زایشی به تدریج در حال گسترش‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تحول ادبیات هوش مصنوعی شهری صرفاً در تغییر موضوعات پژوهشی خلاصه نمی‌شود، بلکه بازتاب‌دهنده تغییر در شیوه صورت‌بندی مسائل، تولید شواهد و پشتیبانی از تصمیم‌سازی شهری است.

از منظر نظری، پژوهش حاضر استدلال می‌کند که مفهوم «گذار معرفت‌شناختی» در این حوزه نباید به عنوان دگرگونی کل رشته برنامه‌ریزی شهری تعبیر شود، بلکه بیانگر تغییری درونی در ادبیات هوش مصنوعی شهری است؛ تغییری که در آن منطق‌های داده‌محور و پیش‌بینانه در کنار ظرفیت‌های نوظهور هوش مصنوعی زایشی، به تدریج نحوه تولید، اعتباربخشی و سازمان‌دهی دانش را

بازتعریف می‌کنند. همچنین، نتایج مربوط به همکاری‌های میان‌رشته‌ای و تمرکز جغرافیایی تولید دانش نشان می‌دهند که توسعه هوش مصنوعی شهری تنها به پیشرفت فناوری وابسته نیست، بلکه با دسترسی به داده، زیرساخت‌های محاسباتی، ظرفیت‌های پژوهشی و شبکه‌های همکاری علمی نیز ارتباط دارد. از این منظر، مباحثی مانند حکمرانی داده، عدالت الگوریتمی و شفافیت باید علاوه بر سطح کاربرد سامانه‌های هوشمند، در سطح تولید دانش و شکل‌گیری دستورکارهای پژوهشی نیز مورد توجه قرار گیرند. از منظر روش‌شناختی، پژوهش حاضر نشان داد که تلفیق طبقه‌بندی موضوعی نظارت‌شده، متن‌کاوی و تحلیل علم‌سنجی می‌تواند چارچوبی مناسب برای مطالعه تحولات دانشی در حوزه‌های میان‌رشته‌ای فراهم آورد. در این رویکرد، شاخص‌های کتاب‌سنجی صرفاً برای توصیف الگوهای انتشار به کار نمی‌روند، بلکه به عنوان شواهدی برای تفسیر تغییر در ساختارهای دانشی، اولویت‌های پژوهشی و منطق تولید دانش مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ ویژگی‌ای که پژوهش حاضر را از بسیاری از مطالعات علم‌سنجی پیشین متمایز می‌کند.

با وجود این، نتایج پژوهش باید در چارچوب محدودیت‌های آن تفسیر شوند. تحلیل حاضر تنها بر مقالات انگلیسی‌زبان نمایه‌شده در پایگاه‌های Web of Science و Scopus استوار است و ادبیات غیرانگلیسی‌زبان و منابع خاکستری را دربر نمی‌گیرد. افزون بر این، طبقه‌بندی موضوعی و معرفت‌شناختی به صورت تک‌برچسبی انجام شده، تحلیل‌ها بر پایه فراداده‌ها و متن‌های کوتاه مقالات صورت گرفته و مقادیر سال ۲۰۲۵ ممکن است به دلیل تأخیر در نمایه‌سازی کمتر از مقدار واقعی برآورد شده باشند. همچنین، پژوهش حاضر قدرت، مشروعیت تصمیم‌ها یا پیامدهای واقعی حکمرانی الگوریتمی را مستقیماً اندازه‌گیری نکرده است؛ از این رو، پیوند میان نتایج علم‌سنجی و مفاهیمی مانند عدالت الگوریتمی یا عاملیت الگوریتمی باید به عنوان تفسیری نظری بر پایه ادبیات موجود تلقی شود، نه نتیجه‌ای مستقیم از داده‌های پژوهش. بر این اساس، پژوهش‌های آینده می‌توانند با تلفیق تحلیل‌های علم‌سنجی و تحلیل محتوای کیفی مقالات اثرگذار، بررسی نقش مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد در فرایندهای برنامه‌ریزی شهری، و انجام مطالعات تطبیقی درباره تفاوت‌های جغرافیایی در دسترسی به داده و زیرساخت‌های محاسباتی، درک دقیق‌تری از تحولات معرفت‌شناختی هوش مصنوعی شهری فراهم کنند. در مجموع، شواهد این پژوهش نشان می‌دهد که ادبیات هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در برنامه‌ریزی شهری و شهر هوشمند در حال تجربه نوعی بازآرایی درونی است که در آن تغییرات موضوعی، تحول پارادایم‌های مسلط و دگرگونی در منطق تولید دانش به طور هم‌زمان رخ می‌دهند. از این منظر، اهمیت آینده هوش مصنوعی شهری صرفاً به توسعه الگوریتم‌های پیشرفته‌تر محدود نمی‌شود، بلکه به چگونگی هدایت این ظرفیت‌ها در چارچوب حکمرانی داده، شفافیت، پاسخ‌گویی و ارزش‌های عمومی نیز وابسته خواهد بود.

مشارکت نویسندگان

نویسنده ی اول ۳۵٪ و نویسنده دوم ۳۵٪ و نویسنده سوم ۳۰٪

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل تلاش و دانش اندوزی نویسندگان است. این تحقیق هیچ نوع منافع تجاری نداشته و نویسندگان بابت ارائه ی اثر خود هیچ وجهی دریافت نکرده‌اند. همچنین، مقاله از حمایت مالی و معنوی بهره مند نبوده و تمامی هزینه‌ها توسط نویسندگان تأمین شده است. در ترجمه انگلیسی و ویرایش زبانی این مقاله، صرفاً از ابزار هوش مصنوعی ChatGPT Plus شرکت OpenAI نسخه ۵.۶ GPT استفاده شده است. استفاده از این ابزار محدود به ترجمه و بهبود زبانی متن بوده و در تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تولید محتوای علمی پژوهش نقشی نداشته است. تمامی بخش‌های ترجمه‌شده توسط نویسندگان بررسی، بازبینی و تأیید شده‌اند تا از دقت ترجمه و انطباق کامل آن با نسخه فارسی اطمینان حاصل شود.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Acuto, M., et al. (2023). Urban governance in the digital age. *Nature Cities*, 1(1), 12–19. <https://doi.org/10.1038/s44284-023-00002-3>
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9399.001.0001>
- Batty, M. (2024). AI and design. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 51(4), 799–802. <https://doi.org/10.1177/23998083241236619>
- Batty, M. (2026). The evolution of AI in city planning. *Discover Cities*, 3, 47. <https://doi.org/10.1007/s44327-026-00224-0>
- Behzadfar, M., Rezaei, Sh., Torkaman, M., & Razaghi, F. (2026). Analyzing emerging trends in sustainable transportation: Designing a framework for transforming urban transportation policy and planning models. *Journal of Urban Economics and Planning*, 7(9), 18–40. <https://doi.org/10.22034/uep.2026.577735.1853>

- Bibri, S. E. (2021). *Data-driven smart sustainable cities of the future: Urban computing and intelligence for strategic, short-term, and joined-up planning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-68059-1>
- Chen, C. (2017). Science mapping: A systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1–40. <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>
- Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P., & Marvin, S. (2024). The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence. *Urban Studies*, 61(6), 1168–1182. <https://doi.org/10.1177/00420980231203386>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Faludi, A. (1973). *Planning theory*. Pergamon Press.
- Hall, P. (2014). *Cities of tomorrow: An intellectual history of urban planning and design since 1880* (4th ed.). Wiley-Blackwell.
- Healey, P. (1997). *Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies*. Macmillan.
- Innes, J. E., & Booher, D. E. (2010). *Planning with complexity: An introduction to collaborative rationality for public policy*. Routledge.
- Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., Hu, Y., & Bhaduri, B. (2020). GeoAI: Spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625–636. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>
- Kitchin, R. (2014). *The data revolution: Big data, open data, data infrastructures and their consequences*. SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781473909472>
- Kitchin, R. (2016). The ethics of smart cities and urban big data. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2083), 20160115. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115>
- Kitchin, R. (2017). Thinking critically about and researching algorithms. *Information, Communication & Society*, 20(1), 14–29. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154087>
- Kitchin, R., & Moore-Cherry, N. (2021). Fragmented governance, the urban data ecosystem and smart city-regions: The case of Metropolitan Boston. *Regional Studies*, 55(12), 1913–1923. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1735627>

- Leszczynski, A. (2020). Glitchy vignettes of platform urbanism. *Environment and Planning D: Society and Space*, 38(2), 189–208. <https://doi.org/10.1177/0263775819878721>
- Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., Liu, Z., Chiang, Y.-Y., & Jiao, J. (2025). Towards the next generation of geospatial artificial intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 104368. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>
- OECD. (2024). *Governing smart cities and artificial intelligence*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/g2g55432-en>
- Si, S., Yao, Y., & Wu, J. (2025). Artificial intelligence in urban planning: A bibliometric analysis and hotspot prediction. *Land*, 14(11), 2100. <https://doi.org/10.3390/land14112100>
- Son, T. H., Weedon, Z., Yigitcanlar, T., Sanchez, T., Corchado, J. M., & Mehmood, R. (2023). Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 94, 104562. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104562>
- Steenmans, K., Robin, E., Acuto, M., Iwaszuk, E., & Ortega Garza, L. (2023). Governing the informed city: Examining local government strategies for information production, consumption and knowledge sharing across ten cities. *Urban Governance*, 3(4), 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2023.09.001>
- United Nations Human Settlements Programme. (2022). *AI & cities: Risks, applications and governance*. UN-Habitat. <https://unhabitat.org/ai-cities-risks-applications-and-governance>
- Xu, H., Omitaomu, F., Sabri, S., Zlatanova, S., Li, X., & Song, Y. (2024). Leveraging generative AI for urban digital twins: A scoping review on the autonomous generation of urban data, scenarios, designs, and 3D city models for smart city advancement. *Urban Informatics*, 3, 29. <https://doi.org/10.1007/s44212-024-00060-w>
- Yigitcanlar, T., Agdas, D., Xia, B., Degirmenci, K., & Inkinen, T. (2024). Unlocking artificial intelligence adoption in local governments: Best practice lessons from real-world implementations. *Smart Cities*, 7(4), 1576–1593. <https://doi.org/10.3390/smartcities7040064>
- Yigitcanlar, T., Desouza, K. C., Butler, L., & Roozkhosh, F. (2020). Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature. *Energies*, 13(6), 1473. <https://doi.org/10.3390/en13061473>

Zhang, W., Han, J., Xu, Z., Ni, H., Lyu, T., Liu, H., & Xiong, H. (2026). Towards urban general intelligence: A review and outlook of urban foundation models. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*. <https://doi.org/10.1145/3821528>

