



COPYRIGHTS

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Moradi S. Ezatpanah B. Beygbabaye B. Analyzing the spatial structure integration with smart transformability capacities (case study: saqqez city). *Urban Economics and Planning* 7(2):146-162.

DOI: [10.22034/uep.2025.535404.1677](https://doi.org/10.22034/uep.2025.535404.1677)

تحلیل هم‌پیوندی ساختار فضایی شهری با ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند (نمونه موردی: شهر سقز)*

سالار مرادی^۱؛ بختیار عزت‌پناه^{۲*}؛ بشیر بیگ بابایی^۳

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
۲. استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
۳. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد ملکان، دانشگاه آزاد اسلامی، ملکان، ایران

چکیده

شهرهای میانی ایران، با ساختار فضایی خاص و چالش‌های نهادی - زیرساختی، به الگوهای بومی برای تحقق‌پذیری هوشمند نیاز دارند. این پژوهش با هدف تحلیل هم‌پیوندی ساختار فضایی شهر سقز با ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند، به‌ویژه در حوزه حمل‌ونقل، انجام شده است. روش تحقیق ترکیبی (آمیخته) و مبتنی بر تحلیل پیکربندی فضا و روش دلفی است. تحلیل شبکه معابر با نرم‌افزار DepthmapX و استخراج ۳۸۶۳ گره و ۴۸۴۸ یال نشان داد ساختار فضایی شهر از ناهمگونی و تمرکز شدید بر گره‌های مرکزی رنج می‌برد. شاخص میانگین عمق در هسته مرکزی ۰/۰۲۳۲ (نشان‌دهنده پیوستگی نسبی) است، در حالی که ضریب تغییرات شاخص دسترسی با ۶۸/۷ درصد بیانگر نابرابری شدید فضایی در دسترسی به خدمات است. همچنین، شاخص ارتباط با میانگین ۰/۰۱۷۰۵ و انحراف معیار ۰/۰۲۶۸۰، الگوی مرکز - پیرامون و وابستگی شبکه به تعداد محدودی از گره‌های حیاتی را آشکار ساخت. از سوی دیگر، فرایند دلفی دومرحله‌ای با ۱۵ خبره به بومی‌سازی و اجماع نهایی روی ۴۰ گویه در پنج شاخص کلیدی منجر شد. ضریب هماهنگی کندال از ۰/۳۷۲ در دور اول به ۰/۷۸۶ در دور دوم رسید که حاکی از اجماع قوی خبرگان بوده است. یافته‌های تلفیقی نشان داد گره‌های با مقادیر هم‌زمان بالا در شاخص‌های بینابینی و دسترسی (مانند گره‌های مرکزی محلات ۱۰ و ۱۱)، نقاط کلیدی برای استقرار بهینه زیرساخت‌های هوشمند هستند. در مقابل، نواحی پیرامونی (محلات ۱۶ و ۱۷) با عمق فضایی بالا و دسترسی پایین، نیازمند مداخلات هوشمندانه برای کاهش شکاف دیجیتال و عدالت فضایی هستند.

کلمات کلیدی

حمل‌ونقل هوشمند
ساختار فضایی
شهر سقز
شهر هوشمند
هم‌پیوندی

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «ارزیابی عوامل مؤثر بر ساختار فضایی شهرها با رویکرد شهر هوشمند (نمونه موردی: شهر سقز)» با راهنمایی دکتر بختیار عزت‌پناه و مشاوره دکتر بشیر بیگ بابایی در دانشکده علوم انسانی واحد مرند دانشگاه آزاد اسلامی است.

** نویسنده مسئول: 3849532046@iau.ir

۱. مقدمه

شهرهای معاصر در آغاز قرن بیستویکم با تحولات بنیادینی در ساختار فضایی، اجتماعی و مدیریتی خود مواجهه‌اند. رشد جمعیت شهری، تغییر الگوهای مصرف و کاربری زمین، فشارهای زیست‌محیطی و گسترش فناوری‌های دیجیتال سبب شده است که «فضا» در شهر نه فقط به عنوان بستری کالبدی، بلکه به‌مثابه محصولی پویا و داده‌محور بازتعریف شود (Batty et al., 2012: 484). این بازتعریف، شهرها را در برابر پرسش‌های بنیادینی درباره چگونگی سازگاری ساختار فضایی با الزامات پایداری، عدالت اجتماعی و هوشمندسازی قرار داده است. مفهوم «شهر هوشمند» یکی از پاسخ‌های برجسته به این تحولات است. به خلاف تصور تقلیل‌گرایانه‌ای که شهر هوشمند را صرفاً مترادف با به‌کارگیری فناوری‌های نوین می‌داند، ادبیات علمی آن را رویکردی چندبعدی برای ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، افزایش کارایی خدمات، کاهش نابرابری فضایی و تقویت حکمرانی شهری تعریف کرده است (Albino et al., 2015: 5). شهر هوشمند مبتنی بر هم‌پیوندی سه حوزه کالبدی است: زیرساخت‌های فناورانه، مشارکت و سرمایه اجتماعی، و بازآرایی فضایی (Nam & Pardo, 2011: 285). بنابراین، مطالعه ظرفیت‌های هوشمندسازی بدون توجه به «ساختار فضایی» و تعامل آن با اجتماع و فناوری، نمی‌تواند تصویر کاملی از تحولات شهری ارائه دهد. از منظر نظری، چند رویکرد کلیدی می‌تواند راهنمای تحلیل این هم‌پیوندی باشد. نخست، نظریه «مدرن‌سازی فناورانه» (Technological Modernization) که تأکید می‌کند شهرها به واسطه ادغام فناوری‌های دیجیتال (اینترنت اشیا، کلان‌داده و هوش مصنوعی) قادر هستند به صورت لحظه‌ای به تغییرات محیطی و اجتماعی واکنش نشان دهند و در نتیجه، ساختار فضایی پویاتری تولید کنند (Giffinger & Haindlmaier, 2010: 8). دوم، «اکولوژی دیجیتال شهری» (Urban Digital Ecology) که بر تغییر جایگاه شهروندان از مصرف‌کنندگان منفعل به تولیدکنندگان داده و شرکای فعال در تصمیم‌سازی فضایی تأکید دارد (Townsend, 2013: 18). این دیدگاه نشان می‌دهد فضا نه فقط محصول سیاست‌های بالا به پایین، بلکه برساخته‌ای تعاملی میان داده، فناوری و کنش اجتماعی است. سوم، روش «تحلیل هم‌پیوندی فضا» (Space Syntax) که امکان می‌دهد ساختارهای کالبدی مانند شبکه معابر و سلسله‌مراتب دسترسی در ارتباط با الگوهای اجتماعی و عملکردی تحلیل شوند (Hegazi et al., 2022: 120; Xia et al., 2019: 129). ترکیب این رویکردها چارچوبی فراهم می‌کند تا بتوان رابطه پیچیده میان فناوری، اجتماع و فضا را به صورت یکپارچه مطالعه کرد. تجربه‌های جهانی از شهرهایی همچون بارسلونا، آمستردام و سئول نشان داده است که تلفیق سیاست‌های فناورانه با برنامه‌ریزی فضایی می‌تواند به ارتقای دسترسی، کاهش ترافیک، بهبود عدالت فضایی و افزایش مشارکت شهروندان منجر شود (Cocchia, 2014: 17; Hollands, 2015: 63). با این حال، این تجارب بیشتر مربوط به کلان‌شهرهایی با ظرفیت‌های اقتصادی و نهادی گسترده‌اند. در مقابل، شهرهای میانی در کشورهای درحال توسعه غالباً با سه دسته چالش مواجه‌اند: ۱- ضعف نهادی و نبود هماهنگی میان دستگاه‌های تصمیم‌گیر؛ ۲- محدودیت زیرساختی در حوزه فناوری‌های ارتباطی و انرژی و ۳- موانع فرهنگی - اجتماعی از جمله نبود فرهنگ داده‌محور و ضعف مشارکت عمومی (Caragliu et al., 2011: 70). این شرایط سبب می‌شود هوشمندسازی در چنین

شهرهایی نه یک فرایند خودکار، بلکه ضرورتی استراتژیک و دشوار باشد. در ایران نیز در دهه اخیر تلاش‌هایی برای توسعه سیاست‌های مرتبط با شهر هوشمند انجام شده است، اما این سیاست‌ها غالباً متمرکز بر کلان‌شهرهایی همچون تهران، اصفهان و مشهد بوده و شهرهای میانی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Mousavi & Alizadeh, 2020: 34).

شهر سقز به عنوان نمونه‌ای از شهرهای میانی ایران، تصویری روشن از این شکاف ارائه می‌دهد. توسعه فضایی این شهر عمدتاً تحت تأثیر گسترش افقی و فاقد توجه به ظرفیت‌های هوشمندسازی بوده است؛ پیامد آن پراکندگی کاربری‌ها، ضعف سلسله‌مراتب عملکردی و ناکارآمدی شبکه حمل‌ونقل شهری است. در عین حال، سقز از ظرفیت‌های بالقوه‌ای مانند جمعیت جوان، ضریب نفوذ قابل توجه اینترنت و گرایش روزافزون شهروندان به استفاده از ابزارهای دیجیتال برخوردار است. این شرایط فرصت‌هایی را برای پیوند دادن ساختار فضایی با ظرفیت‌های هوشمند ایجاد می‌کند، مشروط بر آنکه بستر نهادی و زیرساختی متناسب فراهم شود. در این زمینه، شکاف پژوهشی آشکاری در خصوص مطالعات تجربی و نظری وجود دارد که به شکل‌های مختلفی تظاهر یافته است. در بعد بین‌المللی، پژوهش‌های نظری عمدتاً بر چارچوب‌های کلان و ابعاد آرمانی شهر هوشمند مانند مدرن‌سازی فناورانه یا اکولوژی دیجیتال متمرکز بوده‌اند، در حالی که مطالعات تجربی بیشتر به ارزیابی شاخص‌های عملکردی یا پروژه‌های فناورانه در شهرهای خاص پرداخته‌اند. این تقابل، به غفلت از تحلیل پیوند فناوری با ساختار فضایی - اجتماعی شهر در مقیاس واقعی منجر شده است. از منظر روش‌شناسی نیز این شکاف مشهود است؛ چرا که اکثر تحقیقات از مدل‌های کمی و سنجش‌های فناورانه بهره‌برده‌اند و کمتر از روش‌های تحلیلی - فضایی مانند چیدمان فضا برای بررسی تأثیر فناوری بر ساختار شهر استفاده شده است (Hartley, 2023; Toan & Nhu, 2020). در حوزه داخلی نیز این گسست به شکل دیگری تکرار شده است. مطالعات داخلی عموماً بر معرفی مفاهیم کلی یا طراحی سامانه‌های فناورانه متمرکز بوده و کمتر به بررسی هم‌پیوندی واقعی بین فناوری، حکمرانی و ساختار فضایی پرداخته‌اند، به‌ویژه در شهرهای میانی ایران که از یک سو با محدودیت‌های نهادی و زیرساختی مواجه‌اند و از سوی دیگر، ظرفیت‌های جمعیتی و اجتماعی بالقوه‌ای در اختیار دارند (Hosseini-Rad et al., 2025; Norouzvand et al., 2025; Zamanian et al., 2015). در نتیجه، این پژوهش‌ها فاقد بنیان‌های نظری تلفیقی و روش‌شناسی تحلیلی - فضایی هستند و عمدتاً در سطح توصیفی یا کاربردی محدود مانده‌اند. این وضعیت موجب شده است که از یک سو، دستاوردهای نظری جهانی نتواند با واقعیت‌های بومی و نهادی ایران تلفیق شود و از سوی دیگر، مطالعات تجربی داخلی نتوانند چارچوب‌های تحلیلی محکمی برای آزمون ایده‌های نوین فراهم آورند. بنابراین، شکاف موجود نه تنها در تفاوت بین نظریه و عمل، بلکه در فقدان چارچوب‌های تحلیلی میان‌رشته‌ای نیز ریشه دارد که مانع بررسی یکپارچه ابعاد فناورانه، فضایی و اجتماعی شهر هوشمند در یک مدل جامع می‌شود (Ghorbani et al., 2024). از این رو، مسئله اصلی این پژوهش آن است که ساختار فضایی شهر سقز تا چه اندازه با الزامات و ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند، به‌ویژه در حوزه حمل‌ونقل هوشمند، هم‌پیوند و سازگار است. پاسخ به این پرسش می‌تواند نه تنها تصویری از وضعیت کنونی سقز ارائه دهد، بلکه الگویی برای

سایر شهرهای میانی ایران فراهم آورد و به غنای ادبیات علمی در حوزه پیوند میان فناوری، اجتماع و فضا بیفزاید.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۱.۲. نظریه چیدمان فضا رهیافتی نوین به ساختار فضایی شهر

ساختار فضایی شهر در ادبیات معاصر بین‌المللی به عنوان نظامی پیچیده، چندلایه و پویا تعریف می‌شود که تعامل میان فرم کالبدی، عملکردهای شهری، زیرساخت‌های حرکتی و الگوهای رفتاری کاربران را بازتاب می‌دهد (Hagen, 2025). در رویکردهای نوین، ساختار فضایی نه تنها به آرایش فیزیکی عناصر شهری مانند خیابان‌ها، بلوک‌ها و فضاهای باز محدود نمی‌شود، بلکه به واسطه داده‌های مکانی، الگوهای اتصال، جریان‌های حرکتی، دسترسی و ادراک فضایی، به صورت شبکه‌ای هوشمند تحلیل می‌شود (Batty, 2013). مطالعات جدید از جمله تحلیل‌های مبتنی بر چیدما فضا، تئوری گراف و مدل‌سازی شبکه‌ای، ساختار فضایی را به مثابه بازتابی از منطق اجتماعی - اقتصادی شهرها تلقی می‌کنند که در آن پیوستگی، مرکزیت، مقیاس‌پذیری و شفافیت فضایی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عدالت فضایی، پایداری و حکمرانی شهری دارند (Hillier & Hanson, 1989; Porta et al., 2012). چنین نگرشی موجب شده است تا ساختار فضایی به ابزار کلیدی در فرایند طراحی داده‌محور و برنامه‌ریزی راهبردی شهرهای هوشمند تبدیل شود. نظریه چیدمان فضا که نخستین بار توسط هیلیر و هنسن در کتاب منطق اجتماعی فضا (۱۹۸۴) و سپس بر اثر مهم دیگر آنان، فضا ماشین است (۱۹۹۶)، معرفی و گسترش یافت، دیدگاهی نوآورانه به فهم فضاهای شهری و معماری ارائه می‌دهد. این نظریه با تکیه بر مبانی فلسفی و ریاضی، از طریق ابزارهای دیجیتال، مدل‌های گرافیکی دقیقی از فضاهای کالبدی ارائه می‌دهد و توان پیش‌بینی نحوه استفاده انسان‌ها از این فضاها را فراهم می‌سازد (Rashid, 2019). در این رهیافت، «فضا» نه فقط به عنوان شکاف میان توده‌های ساختمانی، بلکه به مثابه جوهره اصلی تجربه شهری تلقی می‌شود. به خلاف نگاه‌های فرمال، فضا در این نظریه عنصری پویا، ادراکی و نقش‌آفرین در ساختار شهری است. اگرچه این نظریه در ظاهر رویکردی پوزیتیویستی دارد، اما خود نظریه‌پردازان آن چنین نگاهی را نمی‌پذیرند (Zhong et al., 2014). در مطالعات کلاسیک، برای تحلیل ساختار فضایی، نظریه چیدمان از شاخص‌های ویژه‌ای همچون نقشه محوری (Axial Map)، اتصال (Connectivity)، ارزش کنترل (Control Value)، هم‌پیوندی (Integration) و وضوح فضایی (Intelligibility) بهره می‌گیرد (Beig Mohammadi et al., 2025:64-65). اما، شاخص‌های چیدمان فضا در پژوهش‌های اخیر در سه دسته اصلی بررسی می‌شوند: نخست، شاخص‌های پیکربندی و دسترسی مانند یکپارچگی (integration) و انتخاب‌پذیری (choice) که رفتار حرکت و اجتماع را پیش‌بینی کرده و از طریق رویکرد چیدمان فضا تحلیل می‌شوند (Askarizad et al., 2024). دوم، شاخص‌های عملکردی و سازمان‌دهی شامل جانمایی کاربری‌ها، نفوذپذیری و ضریب استفاده که بر آسایش و کارایی گردش اثر گذارند و در ترکیب با داده‌های ارزیابی پس‌اجرائی و شاخص‌های مبتنی بر کاربران تصویر دقیق‌تری از رضایت و بهره‌وری ارائه می‌کنند (Li et al., 2021; Parkinson et al., 2023). سوم، شاخص‌های محیطی و مصرفی مانند نسبت سطح نما به زیربنا که رابطه مستقیمی با تقاضای انرژی دارد و در بهینه‌سازی طراحی فضاها اهمیت یافته

است (Du et al., 2022). همچنین، رویکردهای نوین دیجیتالی‌سازی و استخراج شاخص‌های کمی (برای نمونه، شش شاخص کمی در تحلیل پارک‌های شهری) امکان پیوند بین داده‌های واقعی و مدل‌سازی پارامتریک را فراهم ساخته‌اند (Fan et al., 2024).

۲.۲. تحول‌پذیری و حمل‌ونقل هوشمند

در ادبیات علمی بین‌المللی، شهر هوشمند (Smart City) به عنوان مدلی برای بازآفرینی پایدار و نوآورانه شهرها تعریف می‌شود که با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین اطلاعاتی، زیرساخت‌های داده‌محور و حکمرانی مشارکتی، به ارتقای کیفیت زندگی، کارایی خدمات و بهره‌وری منابع منجر می‌شود (Albino et al., 2015; Caragliu et al., 2011). شاخص‌های اصلی شهر هوشمند در رویکردهای معاصر شامل شش بُعد کلیدی‌اند: حکمرانی هوشمند، اقتصاد هوشمند، مردم هوشمند، زندگی هوشمند، محیط هوشمند و تحرک هوشمند (Giffinger et al., 2007). این ابعاد به طور هم‌افزا، توسعه پایدار شهری را در ابعاد اجتماعی، فناورانه و زیست‌محیطی هدف قرار می‌دهند و در چارچوب شهرهای داده‌محور، با بهره‌گیری از اینترنت اشیا (IoT)، کلان‌داده، و زیرساخت‌های ICT تقویت می‌شوند (Kitchin, 2011; Nam & Pardo, 2014). در این میان، حمل‌ونقل هوشمند (Smart Mobility) به عنوان یکی از ارکان کلیدی شهر هوشمند، در مطالعات نوین بر اساس پنج شاخص بنیادین تحلیل می‌شود. دسترسی و قابلیت جابه‌جایی در حمل‌ونقل عمومی با معیارهایی همچون زمان سفر، فاصله دسترسی، تنوع گزینه‌های سفر و هزینه‌های مرتبط سنجیده می‌شود که نقش تعیین‌کننده‌ای در تحلیل رفتار مسافران و ارزیابی کارایی شبکه حمل‌ونقلی دارد. در کنار آن، یکپارچگی چندوجهی سیستم حمل‌ونقل که به معنای ایجاد پیوند کارآمد بین شیوه‌های مختلف جابه‌جایی و هماهنگی در سیستم‌های پرداخت و زمان‌بندی است، به عنوان رکنی کلیدی در طرح‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌ویژه در تجربیات اروپایی مورد تأکید قرار گرفته است. همچنین، پایداری محیط زیستی از طریق کاهش انتشار آلاینده‌ها، ترویج استفاده از روش‌های پاک همچون پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و وسایل نقلیه برقی و بهینه‌سازی مصرف انرژی دنبال می‌شود. از سوی دیگر، توسعه زیرساخت‌های داده‌محور و فناورانه با بهره‌گیری از حسگرها، اینترنت اشیا و الگوریتم‌های پیش‌بینی‌کننده، امکان مدیریت هوشمند ترافیک و ارتقای کیفیت اطلاع‌رسانی به کاربران را فراهم می‌آورد. در نهایت، عدالت و دسترسی عادلانه به عنوان اصل بنیادین، بر تضمین برخورداری یکسان تمامی گروه‌های اجتماعی و مناطق شهری از خدمات حمل‌ونقل به‌ویژه در چارچوب سامانه‌های نوینی همچون «حمل‌ونقل به مثابه سرویس» یا MAAS (Mobility as a Service) تأکید دارد (Kamargianni et al., 2021; Gillis et al., 2016; Ahonen et al., 2024). مجموعه این شاخص‌ها، در کنار مشارکت شهروندان و سیاست‌گذاری داده‌محور، زیرساختی برای تحول عملکردی و ساختاری شبکه حمل‌ونقل در شهرهای هوشمند فراهم می‌آورند.

مرور نظام‌مند و نقادانه پیشینه پژوهش، نه تنها بستری برای فهم عمیق دستاوردهای پیشین، بلکه عاملی کلیدی در شناسایی شکاف‌های دانش و هموار کردن مسیر برای تولید دانشی نوین و اصیل است. در حوزه پیوند ساختار فضایی و تحول‌پذیری هوشمند شهری، اگرچه مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی انجام

شده، اما اغلب این پژوهش‌ها به جای ارائه تحلیلی یکپارچه و زمینه‌مند، به بررسی جزئی‌ترین ابعاد پرداخته‌اند. در بستر مطالعات داخلی، تأکید عمدتاً بر نقش زیرساخت‌های فناورانه و مدیریتی به عنوان پیش‌شرط هوشمندسازی بوده است. برای نمونه، آباقری مهابادی و همکاران (۲۰۲۴) بر موانع نهادی و شکاف زیرساختی نسبت به استانداردهای جهانی اشاره دارند. رمضانپور کاریزکی و همکاران (۲۰۲۳) بر تأثیر مستقیم فناوری بر ساختار کالبدی - فضایی شهر تأکید می‌کنند. این در حالی است که حجاربان (۲۰۲۵) و قربانی و همکاران (۲۰۲۴) به ترتیب بر «توزیع متوازن خدمات هوشمند» و «ارتقای کیفیت زندگی در بافت مرکزی» به عنوان نتایج اصلاح ساختار فضایی تمرکز کرده‌اند. مدقالچی و همکاران (۲۰۲۲) نیز به درستی به کاهش نقش فاصله در اثر گسترش فناوری اطلاعات و ارتباطات اشاره کرده‌اند. نکته حائز اهمیت اینجاست که این مطالعات اگرچه ارزشمند هستند، اما عمدتاً توصیفی بوده و از ارائه چارچوبی عملیاتی برای سنجش هم‌پیوندی ساختار فضایی و ظرفیت‌های هوشمند در مقیاس محلی غافل مانده‌اند. در مقابل، مطالعات بین‌المللی با بهره‌گیری از داده‌های کلان و روش‌های کمی پیشرفته، به ابعاد نوینی از مسئله پرداخته‌اند. برای مثال، پیمان و همکاران (۲۰۲۵) با تحلیل ۱۷ خوشه شهری در چین، رابطه معناداری بین «تمرکز فضایی» و «توسعه کم‌کربن» را نشان داده‌اند. همچنین، ژوو و همکاران (۲۰۲۴) به الگوی چندمرکزی در شهرهای چین و تأثیر مداخلات حکومتی بر تحولات فضایی اشاره کرده‌اند که بر نقش کلیدی برنامه‌ریزی در تعیین ساختار فضایی صحنه می‌گذارد. لی و لی (۲۰۲۴) نیز با ارائه یک چارچوب سه‌بعدی، الگوی چندکانونی شهر گوانگژو را تأیید و بر ضرورت تلفیق تحلیل‌های کالبدی با برنامه‌ریزی کاربری زمین و زیرساخت هوشمند تأکید کرده‌اند. با این حال، حتی پژوهش‌های پیشرفته بین‌المللی نیز تا حد زیادی بر کلان‌شهرها متمرکز بوده و قابلیت تعمیم‌پذیری آن‌ها به شهرهای میانی و کمتربرخوردار به‌ویژه در بافت غیرغربی مورد تردید است. افزون بر این، اگرچه مطالعاتی مانند تحقیق تکین و دیکمن (۲۰۲۴) بر «شمول فضایی» و «عدالت در جانمایی امکانات» در شهر هوشمند لندن تأکید دارند و یا نیانگون (۲۰۲۱) بر مزایای الگوهای چندمرکزی در برنامه‌ریزی انرژی هوشمند اشاره می‌کند، اما هیچ‌یک دستورالعمل روشنی برای پیاده‌سازی این اصول در شهرهایی با ساختار فضایی نامتوازن و محدودیت منابع (مانند سقز) ارائه نمی‌دهند. مرور کلی منابع مرتبط نشان می‌دهد خلاً اصلی پژوهش‌های پیشین در نبود چارچوبی بومی، قابل اندازه‌گیری و یکپارچه است که بتواند به صورت هم‌زمان ساختار فضایی شهر (با همه ابعاد کالبدی و کارکردی آن) را بسنجد، آن را با شاخص‌های تحول‌پذیری هوشمند (اعم از زیرساخت‌های فناوری، آمادگی نهادی و شاخص‌های پایداری) مرتبط سازد و در نهایت، الگویی عملیاتی برای برنامه‌ریزی هوشمند در شهرهای میانی ایران با همه مختصات و محدودیت‌های خاص خود ارائه دهد. بررسی یکپارچه و فنی خلاصه‌ای از شکاف نظری در حوزه چیدمان فضا در مقایسه با مطالعات تجربی و دستاوردهای روش‌شناختی، حاکی از وجود سه دسته متمایز، اما مرتبط از کاستی‌ها است. نخست، بنیادهای نظری؛ در سطح بین‌المللی ادبیات معاصر از نظریه کلاسیک «منطق اجتماعی فضا» فراتر رفته و به سمت پیوندهای چندرشته‌ای با شهرشناسی داده‌محور، محاسبات شهری و چارچوب‌های طراحی و برنامه‌ریزی مبتنی بر

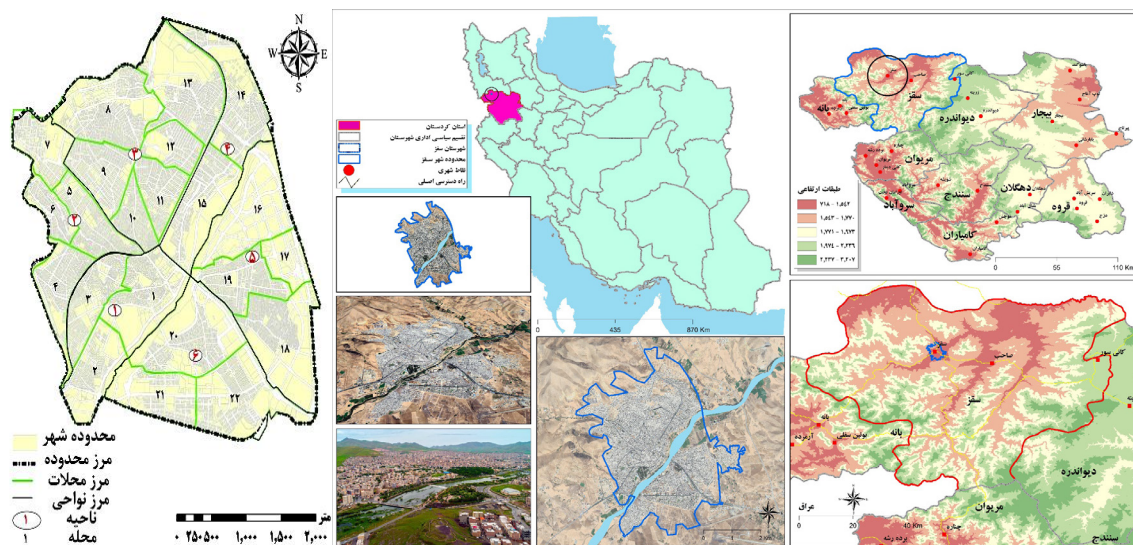
شواهد یا Evidence-Based Design & Planning (EBDP) حرکت کرده است، به طوری که مرورهای کتاب‌شناسی و تحلیلی اخیر رشد سریع و چندگانگی مفهومی و روشی در این حوزه را مستندسازی کرده‌اند و بر نیاز به معیارهای مقایسه‌ای و تعاریف عملی سازگاری نظری تأکید می‌کنند (Mohamed & van der Laag Yamu, 2024). دوم، در مطالعات تجربی اخیر تمایل واضحی به «اعتبارسنجی آماری» و هم‌سنجی شاخص‌های نحو فضا با داده‌های واقعی رفتاری و مکانی مشاهده می‌شود؛ پژوهش‌های چندشهره و مبتنی بر داده‌های بزرگ (مثلاً GPS، موبایل و داده‌های فعالیت) نشان داده‌اند برخی شاخص‌های نحو فضا (مثلاً integration/choice) با الگوهای پیاده‌روی، جابه‌جایی و تراکم اجتماعی همبستگی معناداری دارند، اما این همبستگی‌ها غالباً وابسته به مقیاس، زمینه‌مکانی و متغیرهای کنترلی هستند و نشان می‌دهند ادعاهای علیت صرف نظری نیاز به تقویت از راه شواهد چندمنبعی و آزمون‌های نگاشت مسیر دارند (McCormack et al., 2021). سوم، دستاوردهای روش‌شناختی؛ در پنج سال اخیر پیشرفت‌های فنی ملموسی دیده شده - شامل ادغام خودکارسازی تولید محورها (axial/natural streets)، تحلیل Sicht - گراف (VGA)، توسعه ابزارهای مبتنی بر DepthmapX /مدل‌های Segment/Angular و هم‌پوشانی تحلیل‌های نحو فضا با پایگاه‌های داده POI، ترافیکی و شبکه‌ای که امکان سنجش‌های پیوسته و چندمنبعی را فراهم می‌آورد؛ با این حال، بیشتر این روش‌ها در مطالعات بین‌المللی در شهرهای بزرگ و پیکربندی‌های داده‌محور آزموده شده‌اند و در بسیاری از مطالعات داخلی هنوز به صورت محدود، مقطعی یا بدون ادغام با داده‌های اینترنت اشیا زیرساخت‌های هوشمند پیاده‌سازی شده‌اند (Xing & Guo, 2022). به بیان دیگر، «شکاف نظری» بنیادی نیست فقط فقدان منابع نظری کلاسیک، بلکه ناترازی بین (۱) نظریه‌هایی که ساختار - رفتار را به صورت بالقوه علیتی تبیین می‌کنند؛ (۲) شواهد تجربی پراکنده و زمینه‌مند که غالباً همبستگی محور است و (۳) ابزارها و پروتکل‌های روش‌شناختی لازم برای اتصال این دو (مثلاً طراحی پژوهش‌های طولی، آزمون‌های اعتبار بیرونی، و چارچوب‌های ترکیبی کمی - کیفی). مرورهای سیستماتیک اخیر بر استفاده چیدمان فضا در تقویت «اجتماع‌پذیری» شهری و نیز بررسی‌های حوزه هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نشان می‌دهند اگرچه امکان فنی ادغام وجود دارد، چالش‌های عملی نهادی، کمبود داده‌های تنظیم‌شده و فقدان پروتکل‌های معیارسازی مانع از تعمیم‌پذیری یافته‌ها شده‌اند (Askarizad et al., 2024; Omrany et al., 2024). از منظر مطالعات داخلی، نمونه‌های موردی ایرانی معمولاً با تمرکز بر تحلیل‌های مقیاس محلی، مقایسه‌های تاریخی - تفسیری و گزارش‌های کمی محدود، نشان‌دهنده آن هستند که روش‌های نحو فضا پذیرفته شده ولی کمتر با داده‌های ترافیکی و زیرساختی هوشمند یا با تحلیل‌های حکمرانی و آمادگی دیجیتال درهم آمیخته شده‌اند (Moghimi et al., 2024; Jalali et al., 2021). نتیجه‌گیری نظری - روش‌شناختی که از این شکاف حاصل می‌شود چنین است که رسالت یک تز/پژوهش فنی و اصیل در زمینه هم‌پیوندی ساختار فضایی با ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند باید شامل عناصر زیر به صورت یکپارچه باشد: تعریف عملی و مقیاسی از «تحول‌پذیری هوشمند» متناسب با شرایط شهرهای میانی، طراحی چارچوب سنجش ترکیبی که نحو فضا را با داده‌های چندمنبعی (POI، جریان تراکنش/موبایل، حسگرهای شهری) و

زاگرس کوهستانی قرار گرفته است. رودخانه سقز به عنوان یکی از چهار شاخه اصلی زینه رود از داخل شهر عبور می کند و به عنوان یکی از منابع تغذیه آب و عامل تقسیم بندی فضایی، شهر را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم می کند. در قسمت جنوبی شهر، کوه های هیجانان و در غرب آن، کوه های ملقرنی قرار گرفته اند که بر شکل گیری چشم انداز طبیعی و ساختار کالبدی شهر تأثیرگذار است. مطابق آمار، جمعیت شهر در سال ۱۳۳۵، از ۱۲۷۲۹ به ۲۲۶۴۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵ نفر رسیده است. هم زمان، وسعت شهری از حدود ۳۳ هکتار به بیش از ۱۶۰۰ هکتار (۱۶ کیلومتر مربع) افزایش یافته است؛ بنابراین، رشد جمعیت در این دوره تقریباً ۱۸ برابر و وسعت شهر حدود ۴۷ برابر شده است. مطابق مطالعات طرح جامع و تفصیلی سال ۱۳۹۳، سقز شامل دو ناحیه شهری و ۲۲ محله است. با این حال، ساختار کالبدی و عملکردی شهر به طور کامل هماهنگ با نیازهای روزافزون جمعیت و توسعه اقتصادی نیست (Saeedpour et al., 2014). رشد بی برنامه و بدون تنظیم، به پراکندگی تراکم جمعیت در محلات مختلف منجر شده، به ویژه در مناطق مرکزی و شمال غربی، که این امر فشار زیادی بر خدمات و زیرساخت های شهری وارد کرده است. همچنین، وجود بافت های فرسوده و قدیمی، در کنار تراکم جمعیتی بالا و پراکندگی فضایی، به بروز مشکلاتی همچون گسست های اجتماعی، زیست محیطی و اقتصاد محلی منجر شده است. در حال حاضر، نزدیک به یک سوم از بافت های شهری، یعنی حدود ۳۲ درصد، در دسته بافت های فرسوده و ناکارآمد قرار دارند. بر اساس نتایج مطالعات طرح تفصیلی، محله های ۶، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ بیشترین سطوح آسیب پذیری در زمینه فرسودگی و ناکارآمدی را دارند و به لحاظ جمعیتی نیز، بزرگ ترین تعداد ساکنان را در اختیار دارند، هر چند از نظر دسترسی به خدمات شهری محدودیت هایی دارند. در حوزه توسعه شهری، رشد سریع و در برخی موارد بی رویه، زمینه ساز ایجاد مشکلات ساختاری و ضعف در مدیریت شهر شده است (Movahed et al., 2014).

شاخص های آمادگی نهادی/زیرساختی همبسته کند، و ارائه پروتکل های اعتبارسنجی (cross-validation) و آزمون حساسیت تا کارکردپذیری نظریه در متن محلی اثبات شود؛ چنین رویکردی دقیقاً همان شکافی را پر می کند که ادبیات بین المللی به صورت جزئی نشان داده (Zhand et al., 2024)، اما در متون داخلی (به خصوص برای شهرهای میانی مثل سقز) هنوز نظام مند و پایان نامه محور عرضه نشده است. با توجه به مطالب یادشده، چارچوب نظری این پژوهش بر ترکیب سه محور استوار می شود: (۱) بعد فناورانه، شامل زیرساخت های داده محور، حسگرها و الگوریتم های هوشمند؛ (۲) بعد اجتماعی - نهادی، شامل مشارکت عمومی، سرمایه اجتماعی و ظرفیت حکمرانی؛ و (۳) بعد فضایی، شامل شاخص های چیدمان فضا (یکپارچگی، انتخاب پذیری، وضوح و نفوذپذیری). پیوند این سه محور در قالب مدل مفهومی پیشنهادی، امکانی فراهم می کند تا ساختار فضایی شهر سقز در نسبت با الزامات تحول پذیری هوشمند به ویژه در حوزه حمل و نقل هوشمند مورد سنجش قرار گیرد. این چارچوب نه تنها بازتاب دهنده ادبیات جهانی است، بلکه از طریق تأکید بر ویژگی های شهرهای میانی و محدودیت های بومی، قابلیت انطباق با شرایط ایران را دارد. مدل مفهومی این پژوهش، به خلاف مدل های خطی، ماهیت شبکه ای و سلسله مراتبی دارد و به طور خاص برای شهرهای میانی ایران طراحی شده است تا بتواند محدودیت ها و فرصت های بومی را نیز در نظر بگیرد. به این ترتیب، مدل پیشنهادی پژوهش می تواند به عنوان پلی میان نظریه و عمل عمل کند و هم زمان مبنایی برای تحلیل فضایی، سیاست گذاری شهری و ارتقای عدالت فضایی در فرایند هوشمندسازی باشد.

۳. محدوده مورد مطالعه

شهر سقز دومین شهر پرجمعیت استان کردستان، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۴۷۶ متر از سطح دریا در منطقه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر سقز به همراه نواحی و محلات آن

۴. مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، واکاوی سازمان‌یافتگی فضایی شهر سقز و سنجش میزان انطباق آن با مؤلفه‌ها و شاخص‌های شهر هوشمند با تأکید ویژه بر ظرفیت‌های تحول‌پذیری در حوزه حمل‌ونقل هوشمند است. با توجه به ماهیت مسئله، که از یک‌سو نیازمند تحلیل کالبدی - فضایی ساختار شهر و از سوی دیگر، مستلزم تبیین مفهومی و اعتبارسنجی شاخص‌های مرتبط با شهر هوشمند است، اتخاذ رویکردی ترکیبی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، روش تحقیق در چارچوب مطالعات مختلط طراحی شد که در آن تحلیل فضایی مبتنی بر نظریه پیکربندی فضا در کنار روش دلفی به عنوان سازوکاری برای جمع‌آوری و اجماع نظر خبرگان به کار گرفته شد. این ترکیب از آن رو انتخاب شد که به‌تنهایی هیچ‌یک از دو رویکرد قادر به پاسخ کامل به پرسش تحقیق نبودند: تحلیل پیکربندی فضا امکان شناسایی منطق درونی سازمان فضایی و شبکه حرکتی شهر را فراهم می‌کند، اما در تبیین ابعاد هوشمندسازی و ارتباط آن با شاخص‌های مدیریتی و فناوریانه ناتوان است؛ در مقابل، روش دلفی به‌ویژه در حوزه‌های نوظهور مانند شهر هوشمند، بستری برای اعتباربخشی به شاخص‌ها و گردآوری اجماع متخصصان فراهم می‌سازد، اما فاقد ظرفیت‌های کمی و تحلیلی در حوزه ساختار فضایی است. به این ترتیب، ادغام این دو رویکرد، خلأهای موجود را پوشش داده و زمینه‌ای فراهم می‌آورد که یافته‌های فضایی با ارزیابی‌های تخصصی تلفیق شوند و مدلی بومی‌شده برای ظرفیت‌سنجی شهر هوشمند شکل گیرد. فرایند تحقیق در سه مرحله پیوسته و مکمل پیش رفت. در گام نخست، ساختار فضایی شهر سقز بر اساس نظریه پیکربندی فضا تحلیل شد تا منطق توزیع فعالیت‌ها، سلسله‌مراتب معابر و نقاط کلیدی جریان حرکتی آشکار شود. این بخش به طور مستقیم به هدف نخست تحقیق، یعنی

درک وضعیت موجود سازمان‌یافتگی فضایی شهر، پاسخ داد. در گام دوم، شاخص‌های مرتبط با شهر هوشمند در حوزه حمل‌ونقل با مرور نظام‌مند منابع علمی و تجربیات بین‌المللی استخراج و متناسب با بستر بومی شهر سقز بازطراحی شدند. این مرحله پیوند میان چارچوب نظری و شرایط محلی را برقرار ساخت و امکان سنجش‌پذیری اهداف پژوهش را فراهم آورد. در گام سوم، به منظور اعتبارسنجی شاخص‌ها و گویه‌های تدوین‌شده، از روش دلفی دو مرحله‌ای بهره گرفته شد. مشارکت خبرگان در حوزه‌های شهرسازی، حمل‌ونقل و فناوری شهری موجب شد تا علاوه بر ارزیابی محتوایی، انسجام مفهومی شاخص‌ها نیز سنجیده شود. برای تکمیل این فرایند، از ضریب هماهنگی کندال به عنوان معیاری برای میزان اجماع استفاده شد و پایایی ابزار نیز از طریق سنجش ثبات قضاوت‌ها در دو دور متوالی دلفی کنترل شد. به این ترتیب، علاوه بر روایی محتوایی، به اعتبار سازه‌ای و پایایی ابزارها نیز توجه شد تا نتایج نهایی اتکالپذیر باشند. آنچه این روش‌شناسی را برجسته می‌سازد، انسجام میان لایه‌های تحلیلی و مفهومی است. تحلیل پیکربندی فضا بستری عینی برای شناخت ظرفیت‌ها و محدودیت‌های ساختار شهری فراهم آورد، شاخص‌سازی مبتنی بر مرور نظام‌مند منابع، چارچوب مفهومی هوشمندسازی را متناسب با شرایط بومی غنا بخشید، و دلفی با ایجاد اجماع میان خبرگان، اعتبار نهایی یافته‌ها را تضمین کرد. این فرایند سه‌مرحله‌ای نه تنها به پرسش تحقیق در خصوص میزان انطباق ساختار فضایی سقز با شاخص‌های شهر هوشمند پاسخ می‌دهد، بلکه الگویی کاربردی برای تحلیل ظرفیت‌های هوشمندسازی در سایر شهرهای میانی ایران فراهم می‌آورد و می‌تواند مبنای تصمیم‌سازی برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

جدول ۱. فرایند پژوهش

گام پژوهش	هدف اصلی	روش/رویکرد	داده‌ها و منابع	ابزار و نرم‌افزارها	خروجی مورد انتظار
۱. تحلیل فضایی ساختار شهر	شناسایی منطق سازمان‌یافتگی فضایی و سلسله‌مراتب حرکتی شهر سقز	نظریه پیکربندی فضا (Space Syntax) و تحلیل گراف‌محور (Axial Map)	شبکه معابر شهری در قالب فایل‌های مکانی (SHP, DXF)	UCL DepthmapX, ArcGIS, QGIS, Python (Pandas, Matplotlib)	شاخص‌های فضایی شامل هم‌پیوندی، وضوح فضایی، میزان اتصال، عمق نسبی و ارزش کنترل؛ نقشه مسیرها و گره‌های کلیدی
۲. طراحی و بومی‌سازی شاخص‌های شهر هوشمند	استخراج شاخص‌های مناسب برای سنجش حمل‌ونقل هوشمند در بستر بومی سقز	مرور نظام‌مند منابع و مطالعات تطبیقی	متون علمی، اسناد سیاستی و تجربیات بین‌المللی	تحلیل محتوای نظام‌مند	پنج شاخص کلیدی (زیرساخت داده‌محور، پایداری زیست‌محیطی، مدیریت هوشمند ترافیک، ادغام حمل‌ونقل عمومی، دسترس‌پذیری هوشمند) و ۴۰ گویه تخصصی
۳. اعتبارسنجی شاخص‌ها و گویه‌ها	اطمینان از روایی، پایایی و اجماع خبرگان درباره شاخص‌ها	روش دلفی دو مرحله‌ای + تحلیل اجماع	پرسشنامه، مشارکت ۱۵ خبره*	Excel, SPSS, هم‌هنگی کندال (Kendall's W)	شاخص‌ها و گویه‌های معتبر با انسجام مفهومی، اجماع متخصصان، روایی محتوایی و پایایی تأییدشده
۴. ادغام نتایج و مدل‌سازی نهایی	ترکیب تحلیل فضایی با شاخص‌های هوشمند و یافته‌های دلفی برای تولید مدل بومی	رویکرد ترکیبی (Mixed-Method) با تلفیق تحلیلی - مفهومی و تخصصی	داده‌های فضایی، شاخص‌های بومی‌شده، قضاوت‌های خبرگان	ادغام تحلیلی و استنتاج مقایسه‌ای شهری	مدل بومی‌شده برای سنجش ظرفیت‌های هوشمندسازی در شهر سقز و شهرهای میانی ایران؛ مبنای تصمیم‌سازی شهری

* شامل ۴ عضو هیئت علمی دانشگاه، ۶ کارشناس دستگاه اجرایی، ۳ کارشناس پژوهشی مستقل و ۲ دانشجوی تحصیلات تکمیلی دارای تخصص‌های مربوطه با بیش از ۶ سال سابقه کار مرتبط که به صورت هدفمند گزینش شده‌اند.

جدول ۲. شاخص‌ها و گویه‌های عملکردی حمل‌ونقل هوشمند براساس منابع پژوهش

منابع منتخب	گویه‌های عملیاتی (قابل سنجش)	شاخص کلان
Zeng et al., (2025); Lin et al., (2020); Hu & Chen, (2022)	درصد پوشش حسگرهای ترافیکی در معابر اصلی، درصد پوشش حسگرهای کیفیت هوا در گره‌های پرتدد، تعداد ایستگاه‌های حمل‌ونقل متصل به اینترنت اشیا (IoT)، سطح دسترسی پذیری داده‌های باز (Open Data) در حوزه حمل‌ونقل (امتیاز از ۰ تا ۵)، میزان استفاده از کلان‌داده در تصمیم‌گیری ترافیکی (تعداد داشبوردهای فعال)، وجود سامانه‌های یکپارچه مدیریت بحران مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای، درصد معابر تحت پایش تصویری بلادرنگ، سطح هم‌پوشانی داده‌های حمل‌ونقل با سایر داده‌های شهری (انرژی، محیط زیست).	زیرساخت داده‌محور (Data-driven Infrastructure)
Zheng et al., (2025); Wang et al., (2024); Zhang et al., (2020)	سرانه انتشار CO ₂ ناشی از سفرهای درون‌شهری (kg per capita)، درصد ناوگان عمومی با سوخت پاک یا برقی، درصد ناوگان نیمه‌عمومی (تاکسی/اون) با سوخت پاک یا برقی، تعداد ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی به ازای هر ۱۰ کیلومتر شبکه معابر اصلی، سهم مسیرهای پیاده‌رو استاندارد در کل شبکه حمل‌ونقل، سهم مسیرهای دوچرخه‌رو استاندارد در کل شبکه حمل‌ونقل، میزان مصرف انرژی شبکه حمل‌ونقل (kWh/sal)، نرخ بهینه‌سازی مصرف انرژی شبکه طی ۵ سال گذشته، شاخص توسعه حمل‌ونقل سبز (ترکیب سهم پیاده، دوچرخه و وسایل پاک).	پایداری و مدیریت انرژی (Environmental Sustainability & Energy Management)
Saigal, (2025); Gajdzik et al., (2024); Wahyuilahi, (2025)	درصد تقاطع‌های مجهز به کنترل هوشمند چراغ راهنمایی، میانگین زمان واکنش سیستم به حوادث (دقیقه)، نرخ کاهش تأخیر سفر پس از اعمال کنترل هوشمند (%)، درصد مسیرهای مجهز به اولویت‌دهی هوشمند برای وسایل اضطراری، شاخص بهره‌وری تقاطع‌ها (خودرو عبوری در ساعت/ظرفیت اسمی)، نرخ تشخیص بلادرنگ تصادفات (% دقت)، درصد معابر با کنترل هوشمند حجم خودروها (Congestion Pricing) یا محدودیت ورود، سطح پوشش دوربین‌های حرارتی و هوشمند در گره‌های پرخطر.	مدیریت هوشمند ترافیک (Smart Traffic Management)
Tung et al., (2024); Chen, (2023); Liu et al., (2023)	درصد هم‌زمانی حرکت وسایل حمل‌ونقل عمومی در ساعات اوج، میزان نفوذ بلیت الکترونیکی یکپارچه (% از کل سفرها)، تعداد ایستگاه‌های چندمنظوره (Bus/Metro/Bike) در محدوده شهری، درصد به‌روزرسانی لحظه‌ای زمان‌بندی وسایل در سامانه‌های اطلاع‌رسانی، سهم ناوگان اشتراکی (دوچرخه، اسکوتر) در کل سفرهای روزانه (%، تعداد اپلیکیشن‌های فعال برای مدیریت یکپارچه سفر (Mobility-as-a-Service)، درصد پوشش مکانی ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در شعاع ۵۰۰ متری سکونتگاه‌ها.	ادغام و یکپارچگی حمل‌ونقل عمومی (Integrated Public Transport Systems)
Yang et al., (2025); Shen, (2022); Wang et al., (2025)	درصد کاربران دارای دسترسی به اپلیکیشن‌های حمل‌ونقل هوشمند، امکان رزرو آنلاین صندلی یا مسیر (تعداد سرویس‌های فعال)، میزان رضایت کاربران از اطلاع‌رسانی بلادرنگ مسیرها (امتیاز میانگین از ۵)، درصد معابر مجهز به سامانه‌های هدایت نابینایان و افراد کم‌توان، سطح نفوذ خدمات مکان‌محور (GPS) در کل شبکه حمل‌ونقل شهری (%، درصد اطلاع‌رسانی چندزبانه برای گردشگران در سامانه‌های شهری، درصد ایستگاه‌های مجهز به Wi-Fi عمومی برای پشتیبانی خدمات حمل‌ونقل، شاخص فراگیری دیجیتال (Digital Inclusion Index) در حوزه حمل‌ونقل هوشمند.	دسترسی پذیری هوشمند (Smart Accessibility & User-Centric Services)

۵. یافته‌های تحقیق

۱.۵. تحلیل دلفی

شبکه حمل‌ونقل «تبدیل شد. این اصلاحات پرسشنامه باعث شد تا در دور دوم، میزان هم‌گرایی میان خبرگان به طور معناداری بهبود یابد و ضریب کندال به ۰/۷۸۶ برسد؛ سطحی که نشان‌دهنده اجماع قوی و پایداری دیدگاه‌ها است. از منظر شاخص‌های تکمیلی، میانگین کلی گویه‌ها از ۳/۹۶ در دور اول به ۴/۳۹ در دور دوم ارتقا یافت و انحراف معیار نیز از ۰/۴۹۳۸ به ۰/۲۲۶۶ کاهش پیدا کرد که حاکی از کاهش پراکندگی دیدگاه‌ها و تقویت همگرایی نظری است. افزون بر این، ضریب پایایی (آلفای کرونباخ) برای دور دوم پرسشنامه برابر با ۰/۸۷۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده پایایی مطلوب ابزار اندازه‌گیری است. همچنین مقدار CVR برای اکثر گویه‌ها بالاتر از ۰/۶۲ (آستانه پذیرفته‌شده بر اساس جدول لاوشه برای حجم نمونه خبرگان) گزارش شد که مؤید اعتبار محتوایی مناسب گویه‌های باقی‌مانده است. به طور کیفی نیز تحلیل دیدگاه‌های خبرگان نشان داد بیشترین اختلاف نظر در دور نخست، حول گویه‌های مرتبط با «فناوری‌های نوظهور» (مانند اینترنت اشیا و هدایت نابینایان با سیستم‌های هوشمند) بوده است؛ برخی خبرگان به محدودیت‌های زیرساختی و هزینه‌های بالا اشاره داشتند، در حالی که گروهی دیگر این گویه‌ها را برای آینده نزدیک اجتناب‌ناپذیر می‌دانستند. در مقابل، بالاترین سطح اجماع از همان ابتدا بر سر شاخص‌های «مدیریت هوشمند ترافیک» و «پایداری انرژی» حاصل شد؛ چرا که

در گام نخست، برای سنجش میزان اجماع خبرگان، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار کندال در دور اول ۰/۳۷۲ بوده که نشان‌دهنده سطحی نسبتاً متوسط از توافق میان خبرگان است. مطابق جدول ۴، در این مرحله، از میان ۴۰ گویه استخراج‌شده، تعداد ۸ گویه به دلیل کسب میانگین کمتر از ۴ (حد آستانه توافق) کنار گذاشته شدند؛ این موارد شامل گویه‌هایی چون «سامانه مدیریت بحران مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای» و «اطلاع‌رسانی زنده تأخیر یا تغییر خط» بود که اگرچه از نظر مفهومی حائز اهمیت‌اند، اما در بافت شهری مورد مطالعه از دید خبرگان فاقد امکان‌پذیری عملی بوده یا هنوز زیرساخت کافی برای تحقق آن‌ها فراهم نشده است. در کنار حذف این موارد، ۳ گویه جدید بر اساس پیشنهادهای خبرگان افزوده شد (از جمله «شاخص بهره‌وری تقاطع‌ها»، «میزان مصرف انرژی شبکه حمل‌ونقل» و «سطح دسترسی پذیری داده‌های باز»). همچنین، برخی گویه‌ها با هدف افزایش شفافیت و قابلیت سنجش بازنویسی شدند؛ برای نمونه، «به‌کارگیری فضاهای سبز در مسیرهای شهری» به «سهم مسیرهای پیاده‌رو و دوچرخه‌رو استاندارد در کل

این حوزه‌ها ملموس‌تر بوده و با نیازهای فوری شهر تطابق بیشتری داشتند. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات بین‌المللی نیز نشان می‌دهد روند به‌دست‌آمده هم‌راستا با یافته‌های لی و لی (۲۰۲۴) درباره ضرورت توسعه سیستم‌های مدیریت هوشمند ترافیک و همچنین پژوهش نیانگون (۲۰۲۱) در خصوص تقویت شاخص‌های

پایداری انرژی در حمل‌ونقل شهری است. به این ترتیب، می‌توان گفت که فرایند دلفی نه تنها موجب پالایش گویه‌ها و افزایش اجماع شد، بلکه بستری برای انطباق یافته‌های بومی با چارچوب‌های جهانی نیز فراهم آورد.

جدول ۳. ضرایب هماهنگی کندال در دو مرحله دلفی

دور دلفی (مرحله)	ضریب کندال
اول	۰,۳۷۲
دوم	۰,۷۸۶

جدول ۴. نتایج دوره‌های دلفی گویه‌های پژوهش

شاخص	گویه	دور اول		دور دوم		
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
زیرساخت داده‌محور	درصد پوشش حسگرهای ترافیکی در معابر اصلی	۰,۷	۴,۲۶	۰,۲۹	۴,۴۶	
	درصد پوشش حسگرهای کیفیت هوا در گره‌های پرتردد	۰,۷	۴,۴	۰,۲۸	۴,۷	
	تعداد ایستگاه‌های حمل‌ونقل متصل به اینترنت اشیا (IoT)	۰,۷۶	۴,۳۷	۰,۲۵	۴,۵	
	سطح دسترسی پذیری داده‌های باز (Open Data) در حوزه حمل‌ونقل (امتیاز از ۰ تا ۵)	۰,۶	۴,۴	۰,۳	۴,۴۵	
	میزان استفاده از کلان‌داده در تصمیم‌گیری ترافیکی (تعداد داشبوردهای فعال)	۰,۶۳	۴,۲۱	۰,۳	۴,۶۸	
	وجود سامانه‌های یکپارچه مدیریت بحران مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای	۰,۶۶	۳,۲۲	*	*	
	درصد معابر تحت پایش تصویری بلادرنگ	۰,۶۹	۳,۱۷	*	*	
	سطح هم‌پوشانی داده‌های حمل‌ونقل با سایر داده‌های شهری (انرژی، محیط زیست)	۰,۸۴	۴,۲۱	۰,۲۲	۴,۴۴	
	پایداری زیست‌محیطی	سرانه انتشار CO ₂ ناشی از سفرهای درون‌شهری (kg per capita)	۰,۷۴	۴,۱۲	۰,۱۶	۴,۴۲
		درصد ناوگان عمومی با سوخت پاک یا برقی	۰,۶۵	۴,۳۷	۰,۲۷	۴,۳۵
درصد ناوگان نیمه‌عمومی (تاکسی‌اون) با سوخت پاک یا برقی		۰,۶۵	۳,۶۹	*	*	
تعداد ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی به ازای هر ۱۰ کیلومتر شبکه معابر اصلی		۰,۶۴	۴,۵۱	۰,۲۵	۴,۴۸	
سهم مسیرهای پیاده‌رو استاندارد در کل شبکه حمل‌ونقل		۰,۶۴	۴,۴۴	۰,۲۶	۴,۶۹	
سهم مسیرهای دوچرخه‌رو استاندارد در کل شبکه حمل‌ونقل		۰,۶۷	۳,۶۹	*	*	
میزان مصرف انرژی شبکه حمل‌ونقل (kWh/سال)		۰,۶۵	۴,۱۴	۰,۳	۴,۴۹	
نرخ بهینه‌سازی مصرف انرژی شبکه طی ۵ سال گذشته		۰,۶	۳,۸	*	*	
ادغام حمل‌ونقل عمومی		شاخص توسعه حمل‌ونقل سبز (ترکیب سهم پیاده، دوچرخه و وسایل پاک)	۰,۷۶	۴,۲۱	۰,۲۵	۴,۳۱
		درصد تقاطع‌های مجهز به کنترل هوشمند چراغ راهنمایی	۰,۸۴	۴,۲۹	۰,۲۵	۴,۵۶
	میانگین زمان واکنش سیستم به حوادث (دقیقه)	۰,۸۲	۴,۴۷	۰,۲	۴,۳۱	
	نرخ کاهش تأخیر سفر پس از اعمال کنترل هوشمند (%)	۰,۶۹	۴,۲۳	۰,۲۷	۴,۴۲	
درصد مسیرهای مجهز به اولویت‌دهی هوشمند برای وسایل اضطراری	۰,۶۹	۳,۷۷	*	*		

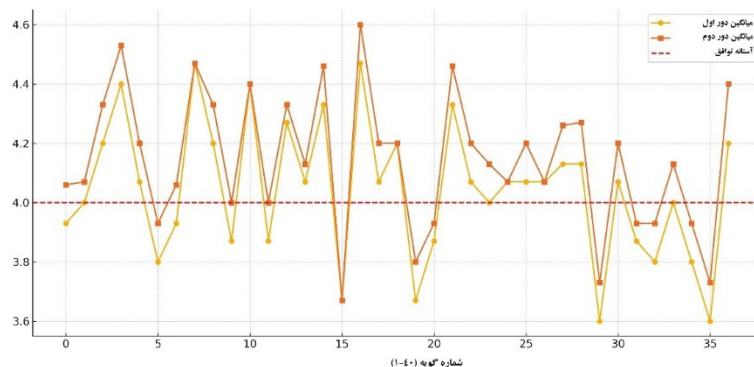
شاخص	گویه	دور اول		دور دوم		
		انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
دسترسی پذیری هوشمند	شاخص بهره‌وری تقاطع‌ها (خودرو عبوری در ساعت/ظرفیت اسمی)	۰.۷۳	۴.۲۲	۰.۲	۴.۶۹	
	نرخ تشخیص بلادرنگ تصادفات (% دقت)	۰.۸۴	۴.۱۵	۰.۱۵	۴.۲۳	
	درصد معابر با کنترل هوشمند حجم خودروها (Congestion Pricing یا محدودیت ورود)	۰.۷۴	۴.۱۹	۰.۳	۴.۴۴	
	سطح پوشش دوربین‌های حرارتی و هوشمند در گره‌های پرخطر	۰.۶	۴.۵۵	۰.۱۹	۴.۳	
	درصد هم‌زمانی حرکت وسایل حمل‌ونقل عمومی در ساعت‌های اوج	۰.۶۸	۴.۱۳	۰.۲۸	۴.۵۷	
	میزان نفوذ بلیت الکترونیکی یکپارچه (% از کل سفرها)	۰.۶۳	۴.۱۸	۰.۲۲	۴.۳۱	
	تعداد ایستگاه‌های چندمنظوره (Bus/Metro/Bike) در محدوده شهری	۰.۶۳	۳.۸۸	*	*	
	درصد به‌روزرسانی لحظه‌ای زمان‌بندی وسایل در سامانه‌های اطلاع‌رسانی	۰.۶۴	۳.۸۱	*	*	
	سهم ناوگان اشتراکی (دوچرخه، اسکوتر) در کل سفرهای روزانه (%)	۰.۶۷	۳.۶۳	*	*	
	تعداد اپلیکیشن‌های فعال برای مدیریت یکپارچه سفر (Mobility-as-a-Service)	۰.۸۳	۴.۱۶	۰.۲۹	۴.۴۱	
	مدیریت هوشمند ترافیک	درصد پوشش مکانی ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در شعاع ۵۰۰ متری سکونتگاه‌ها	۰.۶۲	۳.۷۷	*	*
		درصد کاربران دارای دسترسی به اپلیکیشن‌های حمل‌ونقل هوشمند	۰.۶۶	۳.۴۴	*	*
		امکان رزرو آنلاین صندلی یا مسیر (تعداد سرویس‌های فعال)	۰.۶۲	۳.۸۹	*	*
		میزان رضایت کاربران از اطلاع‌رسانی بلادرنگ مسیره‌ها (امتیاز میانگین از ۵)	۰.۶۲	۴.۵۷	۰.۲۴	۴.۳۱
		درصد معابر مجهز به سامانه‌های هدایت نابینایان و افراد کم‌توان	۰.۷۷	۴.۵۹	۰.۲۹	۴.۳۴
		سطح نفوذ خدمات مکان‌محور (GPS) در کل شبکه حمل‌ونقل شهری (%)	۰.۶۳	۳.۷۱	*	*
جمع	۰.۴۹۳۸	۳.۹۶	۰.۲۲۶۶	۴.۳۹		

تصمیم‌گیری ترافیکی» که از ۴/۲۱ به ۴/۶۸ افزایش یافته و نشان‌دهنده نقش فزاینده داده‌کاوی در مدیریت شبکه‌های حمل‌ونقل است. کاهش محسوس انحراف معیار در این بخش نیز بر تثبیت جایگاه داده به عنوان محور تصمیم‌گیری هوشمند تأکید می‌کند. با وجود این، حذف برخی گویه‌ها در مرحله دوم، مانند سامانه‌های یکپارچه بحران یا پایش تصویری بلادرنگ، از محدودیت‌های نهادی و اجرایی در تحقق کامل این ظرفیت‌ها حکایت دارد. در بعد پایداری زیست‌محیطی نیز روندی ارتقایی قابل مشاهده است. شاخص‌هایی همچون «سطح هم‌پوشانی داده‌های حمل‌ونقل با سایر داده‌های شهری» و «کاهش سرانه انتشار CO₂» بهبود یافته‌اند و این امر نشان‌دهنده همگرایی میان سیاست‌های حمل‌ونقل و اهداف زیست‌محیطی است. در عین حال، حذف یا ثبات برخی گویه‌ها مانند «ناوگان نیمه‌عمومی با سوخت پاک» یا «مسیره‌های دوچرخه‌رو» آشکار می‌سازد که گذار به حمل‌ونقل پاک همچنان با موانع زیرساختی و اجرایی روبه‌رو است. بخش ادغام حمل‌ونقل عمومی نیز ارتقای معناداری را تجربه کرده است. افزایش میانگین در شاخص‌هایی همچون «درصد تقاطع‌های مجهز به کنترل هوشمند» و «کاهش تأخیر سفر» نشان‌دهنده تأثیر مثبت فناوری در بهینه‌سازی شبکه حمل‌ونقل است، اما افت امتیاز شاخص «زمان

مطابق نتایج جدول ۴ و در راستای واکاوی نظام‌مند ابعاد فضایی شهر هوشمند با تأکید بر حمل‌ونقل تحول‌پذیر، ارزیابی شاخص‌های کلان با تکیه بر گویه‌های معتبر و تأییدشده در دور دوم فرایند دلفی، بستری برای تحلیل‌های عمیق‌تر و تبیین اولویت‌های راهبردی در برنامه‌ریزی شهری فراهم ساخت. یافته‌ها حاکی از آن‌اند که پنج شاخص اصلی برگرفته از ادبیات مفهومی شهر هوشمند، در مواجهه با دیدگاه‌های خبرگان، از سطوح متفاوتی از ارجحیت و کارکرد بهره‌مندند، به گونه‌ای که تمایز میان گویه‌های مؤثر و کمتر مؤثر در هر شاخص به روشنی قابل تمایز است. نتایج حاصل از مقایسه مرحله اول و دوم نشان می‌دهد در مجموع، سطح بلوغ شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری سقز به طور معناداری ارتقا یافته است. میانگین کلی شاخص‌ها از ۳/۹۶ در دور اول به ۴/۳۹ در دور دوم افزایش یافته و در عین حال انحراف معیار از ۰/۴۹۳۸ به ۰/۲۲۶۶ کاهش یافته است. این امر بیانگر همگرایی بیشتر نظرات خبرگان و دستیابی به اجماعی پایدارتر در خصوص وضعیت مطلوب و واقعی شاخص‌ها است. به بیان دیگر، هم ارتقا در سطح عملکردی شاخص‌ها و هم افزایش انسجام در ارزیابی آن‌ها قابل مشاهده است. در حوزه زیرساخت داده‌محور، بهبود چشمگیر در اغلب گویه‌ها مشهود است؛ به‌ویژه در شاخص «میزان استفاده از کلان‌داده در

است، اما حذف یا توقف گویه‌هایی نظیر «پوشش مکانی ایستگاه‌ها» یا «دسترسی عمومی به اپلیکیشن‌های هوشمند» به روشنی بیانگر آن است که عدالت فضایی و عدالت دیجیتال هنوز به طور کامل در ساختار مدیریت ترافیک نهادینه نشده‌اند. جمع‌بندی کلی این تحلیل نشان می‌دهد گذار از مرحله نخست به دوم با تثبیت مفهومی و ارتقای عملکردی شاخص‌ها همراه بوده و مسیر حرکت شهر سقز به سوی حمل‌ونقل هوشمند و پایدار را تقویت کرده است. با این وجود، تحقق کامل ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند مستلزم رفع شکاف میان آرمان‌گرایی اسناد و محدودیت‌های اجرایی، تقویت زیرساخت‌های نهادی و توجه جدی‌تر به عدالت اجتماعی و فضایی در بهره‌برداری از فناوری‌های نوین است.

واکنش سیستم به حوادث» همچنان حاکی از فاصله میان ظرفیت فناوریانه و مدیریت بحران‌های ترافیکی است. حوزه دسترس‌پذیری هوشمند بیشترین میزان رشد و کاهش انحراف معیار را به خود اختصاص داده است. افزایش شاخص «بهره‌وری تقاطع‌ها» از ۴/۲۲ به ۴/۶۹ و ارتقای شاخص هم‌زمانی ناوگان عمومی در ساعت‌های اوج، بیانگر حرکت شبکه به سمت کارایی و توازن بیشتر است. با این حال، افت امتیاز برخی گویه‌ها مانند «پوشش دوربین‌های هوشمند» نشان می‌دهد صرف بهره‌گیری از فناوری کافی نیست و تکمیل آن با سازوکارهای مدیریتی و اجتماعی ضرورت دارد. در نهایت، مدیریت هوشمند ترافیک گرچه در برخی شاخص‌ها مانند «اپلیکیشن‌های یکپارچه سفر» و «رضایت کاربران» بهبود یافته

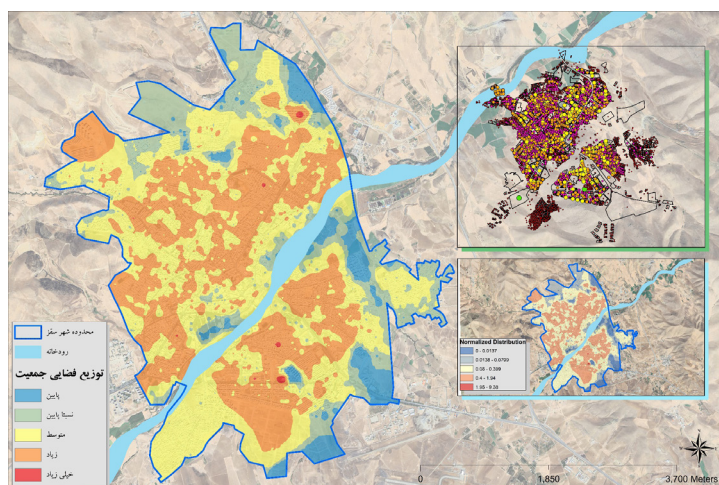


شکل ۲. مقایسه میانگین گویه‌های واجد شرایط

نظیر بهارستان و تازه‌آباد، شکاف عمیق میان برنامه‌ریزی رسمی و واقعیت‌های اقتصادی - اجتماعی را عیان ساخت. این شکاف نه تنها یکپارچگی فضایی - کالبدی شهر را تهدید کرد، بلکه موجبات تضعیف عدالت در توزیع خدمات و امکانات شهری را نیز فراهم آورد. از دهه ۱۳۹۰ به این سو، پیچیدگی تحولات فضایی در سقز افزایش یافته است. عوامل نوظهوری همچون نوسانات اقتصادی، افزایش قطعه‌بندی اراضی، توسعه شبکه معابر و تداوم مهاجرت‌های روستا - شهری، الگوی توسعه شهری را به سمت گسست و پراکندگی هرچه بیشتر سوق داده‌اند. این شرایط نشان‌دهنده گذار از مسئله‌ای تک‌بعدی با ماهیت فقط کالبدی، به مسئله‌ای ترکیبی و چندوجهی است که ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را هم‌زمان دربرمی‌گیرد. در چنین بستر پیچیده‌ای، پرسش محوری این است که چگونه می‌توان با به‌کارگیری رهیافت‌های نوین در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، قابلیت‌های تحول‌پذیری هوشمند را در سازمان فضایی شهر فعال‌سازی کرد. تجربه سقز نشان می‌دهد بدون در نظرگیری ارتباط دیالکتیکی میان عدالت فضایی، تاب‌آوری اجتماعی و انسجام ساختاری، هرگونه مداخله کالبدی محکوم به تکرار چرخه‌های پیشین ناپایداری خواهد بود. بنابراین، گذار به سوی شهری هوشمند و تحول‌پذیر در سقز، مستلزم خروج از نگاه صرفاً فیزیکی به توسعه و حرکت به سمت تقویت نهادی مدیریتی، توانمندسازی جامعه محلی و استقرار نظام تصمیم‌گیری مشارکت‌محور است؛ نظامی که بتواند هم‌زمان با مهار توسعه غیررسمی، عدالت را در توزیع فرصت‌ها و دسترسی به خدمات شهری تضمین کند.

۲.۵. تحلیل هم‌پیوندی ساختار فضایی شهر سقز با ظرفیت‌های تحول‌پذیری هوشمند

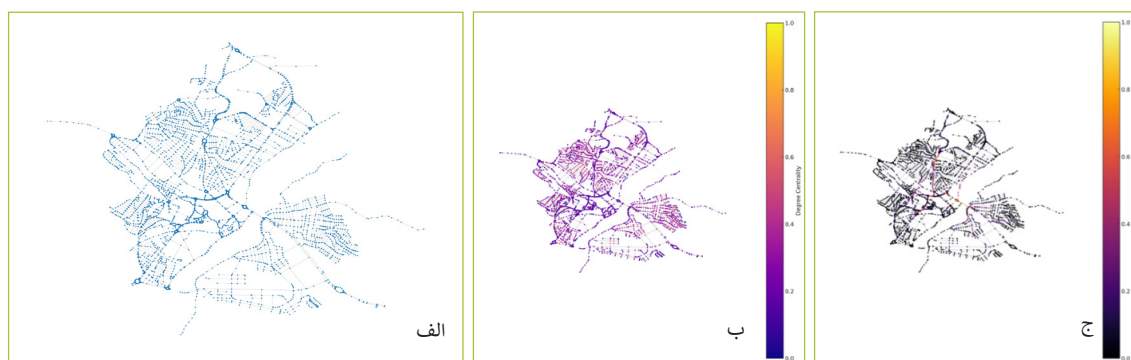
از اواسط دهه ۱۳۵۰، شهر سقز شاهد هجوم پیوسته موج‌های مهاجرت روستایی بود که نه تنها تحولات کمی در ترکیب جمعیتی آن ایجاد کرد، بلکه اساس ساختار کالبدی - فضایی و نظام مدیریت شهری را نیز دستخوش دگرگونی‌های عمیق کرد. ورود بیش از ۲۷ هزار نفر طی دهه ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵، فقط به افزایش تقاضا برای مسکن محدود نبود، بلکه به بازآرایی الگوهای استقرار و سازمان فضایی شهر انجامید. توسعه شتابزده به سوی دامنه‌های کوهستانی با شیب‌های ۲۵ تا ۳۵ درصد، نمونه‌ای گویا از تقابل نیاز فوری به اسکان و محدودیت‌های محیطی بود که پیامدهای آن در قالب کاهش تاب‌آوری کالبدی، افزایش هزینه‌های ارائه خدمات شهری و تشدید نابرابری‌های فضایی متجلی شد. این روند، بیانگر ناکارآمدی حکمرانی شهری و غیبت راهبردهای یکپارچه مبتنی بر تاب‌آوری و عدالت فضایی بود. در دهه‌های پس از آن، تلاش‌های برنامه‌ریزی رسمی در قالب طرح‌های جامع و تفصیلی، با هدف ساماندهی این الگوهای ناسازگار محیطی به کار گرفته شد. هرچند طرح جامع شهری، مسیر توسعه آبی را در دو محور شمالی و جنوبی پیش‌بینی کرده بود، اما رویکرد آن عمدتاً معطوف به ابعاد کالبدی توسعه بود و کمتر توانست پاسخی جامع به نیروهای اجتماعی - اقتصادی محرک تغییر ارائه دهد. طرح تفصیلی مصوب ۱۳۹۶ نیز، علی‌رغم پایه‌گذاری چارچوبی منسجم برای هدایت توسعه، به دلیل عدم تناسب با ظرفیت‌های نهادی و مدیریتی شهر و همچنین آرمان‌گرایی در مفروضات بنیادین، با چالش‌های جدی در مرحله اجرا مواجه شد. به‌ویژه در میانه دهه ۱۳۸۰، رشد بی‌ضابطه سکونتگاه‌های غیررسمی



شکل ۳. الگوی توسعه جمعیتی و کالبدی شهر سقز

هوشمند تقاطع، سنسورهای پایش بلادرنگ و ایستگاه‌های اطلاع‌رسانی. از منظر کارکردی، شاخص مرکزیت بینابینی نواحی را مشخص می‌کند که در هدایت جریان‌های حرکتی نقش محوری دارند و می‌توانند به عنوان نقاط کلیدی برای مدیریت ترافیک یا استقرار مراکز خدمات حمل‌ونقل هوشمند انتخاب شوند. شاخص مجاورت نیز نشان می‌دهد کدام بخش‌های شبکه سریع‌تر و با هزینه کمتر به سایر نقاط متصل می‌شوند؛ امری که در شناسایی نواحی اولویت‌دار برای توسعه حمل‌ونقل عمومی یا خدمات اشتراکی اهمیت ویژه‌ای دارد. عمق میانگین نیز امکان سنجش لایه‌بندی و سلسله‌مراتب فضایی را فراهم می‌آورد و می‌تواند مبنای اصلاح الگوی پراکندگی خدمات شهری قرار گیرد. بر اساس این نتایج، ارتباط میان داده‌های عددی و پیامدهای عملی در برنامه‌ریزی هوشمند شهری روشن‌تر می‌شود؛ گره‌های با درجه و مجاورت بالا ظرفیت بالاتری برای بهبود دسترسی و کاهش زمان سفر دارند، در حالی که نقاط با مرکزیت بینابینی بالا به عنوان شریان‌های حیاتی شبکه باید در اولویت مدیریت هوشمند ترافیک قرار گیرند. به این ترتیب، تحلیل شبکه‌ای نه فقط مجموعه‌ای از محاسبات عددی، بلکه ابزاری است برای بازشناسی فرصت‌های مداخله فناورانه، تقویت عدالت فضایی در دسترسی و ارتقای تاب‌آوری ساختاری شهر. این رویکرد به‌ویژه در بستر سقز می‌تواند به‌مثابه پلی میان داده‌های فنی و سیاست‌گذاری عمل کند و مسیر گذار از توسعه کالبدی سنتی به سمت شهر هوشمند و تحول‌پذیر را هموار سازد.

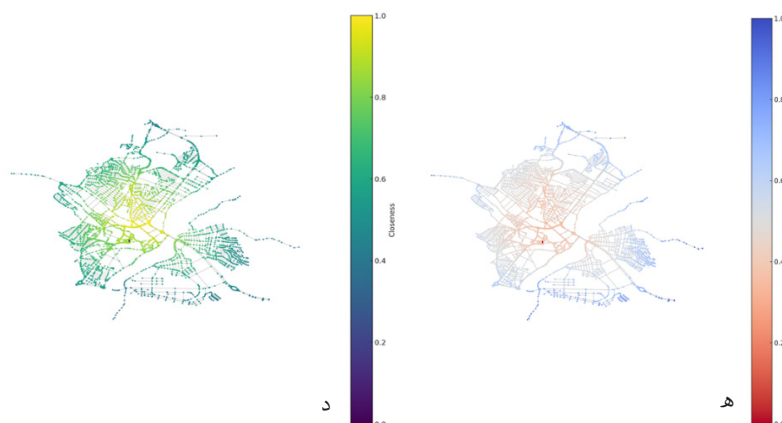
استفاده از روش‌های نوین تحلیل ساختار فضایی، به‌ویژه مبتنی بر منطق گراف و سینتکس فضا، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در بازنگری مسیر توسعه شهری محسوب می‌شود. پیوند این روش‌ها با ظرفیت‌های هوشمندسازی و تصمیم‌سازی داده‌محور، چشم‌اندازی تازه برای برنامه‌ریزی مبتنی بر شواهد در شهرهایی مانند سقز فراهم می‌آورد؛ شهری که در مرز سنت‌های توسعه کالبدی و الزامات هوشمندانه قرن جدید، بیش از هر زمان نیازمند نگاهی سیستم‌محور، انطباق‌پذیر و فناوری‌بنیاد است. در همین راستا، تحلیل ساختار فضایی شبکه معابر سقز با استخراج ۳۸۶۳ گره و ۴۸۴۸ یال و سنجش شاخص‌های کلیدی همچون مرکزیت درجه (Degree Centrality)، مرکزیت بینابینی (Betweenness Centrality)، مرکزیت مجاورت (Closeness centrality) و عمق میانگین (Depth Centrality) صورت گرفت. این شاخص‌ها امکان بررسی میزان پیوستگی، تمرکز، دسترسی و انسجام شبکه را فراهم می‌کنند و به طور مستقیم درک کاربران را از ظرفیت‌های مداخله فناورانه ارتقا می‌بخشند. مطابق شکل ۳ یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص درجه به طور میانگین مقدار بسیار پایینی (۰/۰۰۶۵) دارد که بیانگر اتصال محدود در بیشتر نقاط شبکه و غلبه ساختارهای خطی یا شعاعی است. چنین الگویی به وابستگی جریان‌های حرکتی به مسیرها و گره‌های خاص منجر می‌شود و می‌تواند نقاط آسیب‌پذیری در سیستم ایجاد کند. با این حال، تمرکز گره‌هایی با درجه بالا در بخش‌های کانونی شهر فرصت مهمی برای استقرار فناوری‌های هوشمند محسوب می‌شود؛ از جمله نصب سامانه‌های کنترل



شکل ۴. الف) شبکه معابر شهر سقز؛ ب) مرکزیت درجه؛ ج) مرکزیت بینابینی

شاخص مرکزیت بینابینی که نقش گره‌ها را به عنوان نقاط واسط و حیاتی در جریان کلی شبکه نشان می‌دهد، با میانگین $0/01705$ و انحراف معیار نسبتاً بالای $0/02680$ ، ساختاری ناهمگن با الگوی مرکز - پیرامون را در شبکه معابر سقز آشکار می‌سازد. این شاخص در واقع تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای عبوری از هر گره را اندازه‌گیری می‌کند. گره‌هایی با مقادیر بالای مرکزیت بینابینی دارای موقعیتی استراتژیک در شبکه هستند، زیرا بخش عمده‌ای از جریان‌های حرکتی شهر از این نقاط عبور می‌کنند. این تمرکز از یکسو نشان‌دهنده نقاط آسیب‌پذیر در برابر تراکم و اختلال در شبکه است و از سوی دیگر، فرصتی استثنایی برای استقرار سیستم‌های مدیریت هوشمند ترافیک، اولویت‌دهی به وسایل نقلیه اضطراری و بهینه‌سازی تخصیص مسیر فراهم می‌آورد. چنین نقاطی می‌توانند به عنوان هسته‌های کنترل هوشمند شبکه عمل کرده و سهم بسزایی در افزایش تاب‌آوری جریان‌های شهری ایفا کنند. در مقابل، شاخص مجاورت که بیانگر متوسط فاصله یک گره از تمامی گره‌های دیگر شبکه است، با مقادیر میانگین $45/01$ و دامنه تغییرات $1/01$ تا $64/25$ ، نشان‌دهنده پراکندگی فضایی قابل توجه و نابرابری در سطح دسترسی‌پذیری در شهر سقز است. این شاخص در واقع میزان مرکزیت و دسترسی‌پذیری هر نقطه را اندازه می‌گیرد. گره‌هایی با مقادیر بالاتر مجاورت (یعنی مقادیر عددی پایین‌تر) در موقعیت‌های مرکزی‌تر قرار گرفته و دسترسی سریع‌تری به کل شبکه دارند. این ویژگی، این نقاط را به مکان‌هایی ایده‌آل برای استقرار خدمات شهری هوشمند نظیر ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه برقی، پارکینگ‌های اشتراکی هوشمند و مراکز توزیع لجستیک پیشرفته تبدیل می‌کند. از منظر عدالت فضایی، استقرار خدمات در این نقاط می‌تواند به توزیع عادلانه‌تر امکانات و افزایش رضایتمندی شهروندان منجر شود. این یافته‌ها نه تنها درک عمیق‌تری از ساختار شبکه معابر سقز ارائه می‌دهد، بلکه مبنایی علمی برای اولویت‌بندی مداخلات هوشمند شهری فراهم می‌کند. با تمرکز بر گره‌های با مرکزیت بینابینی بالا می‌توان تاب‌آوری شبکه را افزایش داد و با بهره‌گیری از گره‌های با مرکزیت بینابینی بهینه می‌توان به توزیع عادلانه‌تر خدمات شهری دست یافت.

با تحلیل شاخص مرکزیت بینابینی در شبکه معابر سقز، ساختاری ناهمگن با الگوی مرکز - پیرامون آشکار می‌شود که مشابه الگوی مشاهده‌شده در شهرهای تاریخی با بافت ارگانیک همچون اصفهان و شیراز است. بر اساس مطالعات امامی و زبردست (۲۰۱۴) در شهر اصفهان، میانگین شاخص یادشده در هسته مرکزی شهر به $0/032$ می‌رسد که نشان‌دهنده تمرکز شدید جریان‌های حرکتی در محورهای محدود است. این الگو در تضاد با شهرهای برنامه‌ریزی‌شده مدرن همچون کپنهاگ است که بر اساس مطالعه گل (۲۰۱۰) دارای توزیع متعادل‌تری از شاخص مرکزیت بینابینی (میانگین $0/008$) است. در زمینه شاخص مجاورت، پراکندگی قابل توجه مقادیر در سقز نشان‌دهنده نابرابری عمیق در دسترسی‌پذیری است. این وضعیت مشابه الگوی شناسایی‌شده توسط شاهینی‌فر و و چاره‌جو (۲۰۲۲) در شهر کرمانشاه است که در آن ضریب تغییرات مجاورت به $68/7$ درصد می‌رسد. در مقابل، شهر ونکوور کانادا (۲۰۲۱) که به عنوان الگویی برای دسترسی عادلانه شناخته می‌شود، ضریب تغییرات مجاورت پایینی ($22/3$ درصد) دارد. مقایسه تطبیقی نتایج شاخص‌ها با استانداردهای بین‌المللی نشان می‌دهد میزان تمرکز مرکزیت بینابینی در سقز $4/2$ برابر شهرهای اروپایی مدرن و ضریب تغییرات مجاورت در سقز $3/1$ برابر شهرهای پیشرو در عدالت فضایی است. این یافته‌ها لزوم توجه به تجارب موفق داخلی و بین‌المللی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، پروژه بهسازی شبکه معابر در تبریز (Mohammadzadeh, 2015; Mohammadzadeh, R. and Fallahnejad et al., 2016) موفق شد با ایجاد مسیرهای جایگزین، میانگین مرکزیت بینابینی را 34 درصد کاهش دهد. همچنین، تجربه وین در اجرای برنامه دسترسی عادلانه (Urban Mobility Plan Vienna, 2025) نشان داد با تمرکز بر گره‌های با مجاورت بالا می‌توان پوشش خدمات شهری را تا 40 درصد افزایش داد. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد اگرچه ساختار شبکه معابر سقز دارای چالش‌های جدی است، اما با بهره‌گیری از تجربیات موفق و اتخاذ راهبردهای هوشمند می‌توان به سمت الگوی متعادل‌تر و عادلانه‌تری حرکت کرد.



شکل ۵. (د) مرکزیت مجاورت؛ (ه) عمق میانگین

انحراف معیار محدود آن، وجود ساختاری نسبتاً یکپارچه و به هم‌پیوسته در هسته مرکزی شبکه معابر سقز را نشان می‌دهد. با این حال، دامنه وسیع مقادیر این شاخص (از $0/0025$ تا $0/0449$)

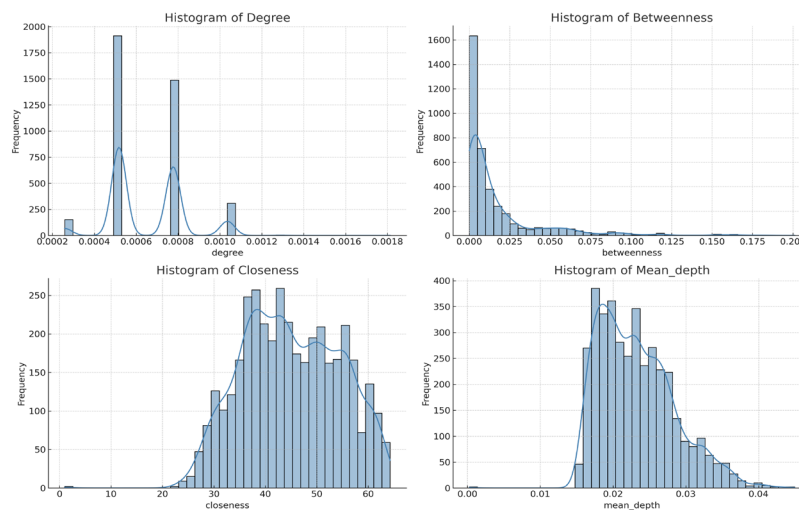
شاخص عمق میانگین که از نظریه پیکربندی فضا (Space Syntax) استخراج می‌شود، میانگین عمق دسترسی هر گره را نسبت به کل شبکه ارزیابی می‌کند. مقدار پایین این شاخص ($0/0232$) همراه با

بیانگر وجود ناهمسانی فضایی قابل توجه در نواحی پیرامونی است که از دسترسی محدودتر و عمق فضایی بالاتری برخوردارند. این یافته‌ها از یکسو وجود یک هسته کارا و قابل دسترس در مرکز شهر را تأیید می‌کند و از سوی دیگر، چالش‌های دسترسی در مناطق حاشیه‌ای را آشکار می‌سازد. از منظر عملیاتی، این تحلیل می‌تواند مبنای ارزشمندی برای مکان‌یابی بهینه زیرساخت‌های هوشمند شهری فراهم آورد. به طور مشخص، مناطق با عمق فضایی پایین (مقادیر کمیته شاخص) برای استقرار سیستم‌های راهبری پیشرفته، تابلوهای هوشمند اطلاع‌رسانی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیریابی مناسباند. در مقابل، مناطق با عمق فضایی بالا (مقادیر بیشینه شاخص) نیازمند توجه ویژه در طراحی مداخلات شهری و ارائه خدمات هوشمند هستند تا از انزوای فضایی این نواحی کاسته شود. این تحلیل به‌ویژه در بافت ناهمگون شهری سقز می‌تواند به برنامه‌ریزی عادلانه‌تر و داده‌محورتر بینجامد و به توزیع متعادل‌تر امکانات و خدمات شهری کمک کند. در واقع، درک الگوهای عمق فضایی نه تنها برای بهینه‌سازی جریان‌های حرکتی، بلکه برای تحقق عدالت فضایی در دسترسی به خدمات شهری نیز حائز اهمیت است. جدول ۵ تحلیل جامع شاخص‌های مرکزی شبکه معابر سقز تصویر گویایی از ساختار فضایی این شهر ارائه می‌دهد. شاخص درجه با میانگین ۰/۰۰۰۶۵ و میانه ۰/۰۰۰۵۲ نشان‌دهنده پیوندهای نسبتاً محدود در سطح شبکه است که ساختاری با اتصالات کم را نشان می‌دهد. این ویژگی با دامنه تغییرات نسبتاً گسترده (از ۰/۰۰۰۲۶ تا ۰/۰۰۱۸۱) و انحراف معیار ۰/۰۰۰۱۸ تأیید می‌شود. در مقابل، شاخص مرکزیت بینابینی با میانگین ۰/۰۱۷۰۵ و انحراف معیار نسبتاً بالای ۰/۰۲۶۸۰، توزیع ناهمگن نقش گره‌ها در جریان‌های شبکه را نشان می‌دهد که بیانگر وجود تعدادی گره با مقادیر بسیار بالا و نقش کلیدی در واسطگی شبکه است. شاخص مجاورت با میانگین ۴۵/۰۱ و انحراف معیار ۳/۳۹، دامنه وسیعی از دسترسی‌پذیری (از ۱/۰۱ تا ۶۴/۲۵) را آشکار می‌سازد که حاکی از ناهمگنی قابل توجه در سطح دسترسی نقاط مختلف شبکه است. این ناهمگنی با مقدار IQR برابر با ۸۱/۱۴ به‌وضوح قابل مشاهده است. در تکمیل این تحلیل، شاخص عمق میانگین با میانگین

۰/۰۲۳۲ و انحراف معیار ۰/۰۰۵۲، وجود ساختاری نسبتاً یکپارچه در هسته مرکزی شبکه را نشان می‌دهد، اما دامنه تغییرات گسترده (از ۰/۰۰۰۲۵ تا ۰/۰۴۴۹) بیانگر وجود نواحی پیرامونی با عمق فضایی بالاتر و دسترسی محدودتر است. یافته‌ها در مجموع نشان می‌دهند شبکه معابر سقز اگرچه از یک هسته مرکزی نسبتاً یکپارچه برخوردار است، اما با چالش‌های جدی در زمینه ناهمگنی ساختاری و نابرابری در دسترسی مواجه است. چنین ویژگی‌هایی اهمیت به‌کارگیری رویکردهای هوشمند و عادلانه در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت شبکه معابر را بیش از پیش آشکار ساخته و لزوم توجه ویژه به نواحی پیرامونی با دسترسی محدود را نمایان می‌سازد. در مجموع، تحلیل انجام‌شده مؤید آن است که ساختار فضایی شهر سقز از یک سو واجد انسجام نسبی در برخی بخش‌های مرکزی است و از سوی دیگر، با تمرکز عملکردی و اتصال ضعیف در بخش‌های حاشیه‌ای مواجه است؛ وضعیتی که الگویی از عدم تعادل فضایی را بازتاب می‌دهد. با این حال، گره‌هایی که در آن‌ها شاخص‌های درجه، مرکزیت بینابینی و مجاورت به طور هم‌زمان در سطوح بالایی قرار دارند، هسته‌های پویای شهری تلقی شده و مستعدترین نواحی برای استقرار زیرساخت‌های هوشمند و تحول‌پذیر به شمار می‌روند. این تحلیل به‌روشنی نشان می‌دهد مداخلات فناورانه در شهرهای میانی نباید ماهیتی همگن و یکسان‌نگر داشته باشند، بلکه باید بر پایه الگوی فضایی - شبکه‌ای شهر، به صورت هدفمند، مرحله‌ای و با اولویت‌بندی گره‌های بحرانی، طراحی و اجرا شوند. به این ترتیب، منطق تحلیل شبکه‌ای در این پژوهش، نه تنها ابزاری برای تفسیر ساختار کالبدی شهر بوده، بلکه بنیانی نظری و کاربردی برای جهت‌دهی به سیاست‌های هوشمندسازی شهری فراهم آورده است؛ سیاست‌هایی که باید هم‌زمان به بازآرایی فضایی، توسعه زیرساخت داده‌محور و بهینه‌سازی نظام عملکردی در راستای عدالت فضایی و بهره‌وری سامانه‌های بینجامند. تحلیل گراف معابر شهر سقز در این راستا نقشی کلیدی ایفا می‌کند و می‌تواند به عنوان مدل مفهومی پیشران در طراحی مدل‌های محلی‌شده تحول‌پذیری هوشمند در سایر شهرهای هم‌تراز نیز تعمیم یابد.

جدول ۵. نتایج تحلیل‌های مرکزی شبکه

شاخص	میانگین	میانه	انحراف معیار	بیشینه	کمیته	IQR (چارک میانی)
مرکزیت درجه	۰.۰۰۰۶۵	۰.۰۰۰۵۲	۰.۰۰۰۱۸	۰.۰۰۱۸۱	۰.۰۰۰۲۶	۰.۰۰۰۲۶
مرکزیت بینابینی	۰.۰۱۷۰۵	۰.۰۰۶۹۱	۰.۰۲۶۸۰	۰.۲۰۱۰۷	۰.۰۰۰۰۰	۰.۰۱۶۴۴
مرکزیت مجاورت	۴۵.۰۱	۴۴.۲۲	۹.۳۹	۶۴.۲۵	۱۰.۱	۱۴.۸۱
عمق میانگین	۰.۰۲۳۲	۰.۰۲۲۶	۰.۰۰۵۲	۰.۰۴۴۹	۰.۰۰۰۲۵	۰.۰۰۷۴۳



شکل ۶. نتایج نمودار آماری (هیستوگرام) توزیع شاخص‌ها

۶. بحث و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، تحولات سریع فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و گسترش رویکردهای هوشمندسازی شهری، بازتعریف رابطه میان ساختار فضایی شهرها و ظرفیت‌های تحول‌پذیری آن‌ها را به یک ضرورت پژوهشی و عملی تبدیل کرده است. شهرهای میانی ایران، با جایگاه ویژه خود در شبکه شهری ملی و ویژگی‌های کالبدی، اقتصادی و اجتماعی منحصر به فرد، به مثابه عرصه‌هایی هستند که هم‌زمان با محدودیت‌های منابع و نیاز به توسعه پایدار، فرصت مناسبی برای آزمایش مدل‌های نوین مدیریت و هوشمندسازی فراهم می‌آورند. با این حال، مطالعات موجود عمدتاً بر شهرهای بزرگ متمرکز بوده و شناخت کمی و کیفی از چگونگی هم‌پیوندی ساختار فضایی این شهرها با ظرفیت‌های فناوری و حکمرانی هوشمند محدود است. پژوهش‌های نظری نشان می‌دهد ساختار فضایی، نه تنها چارچوب فیزیکی حرکت و تعامل اجتماعی را شکل می‌دهد، بلکه توانایی شهر در جذب، پردازش و بهره‌برداری از داده‌های هوشمند برای تصمیم‌گیری پویا را نیز تعیین می‌کند. تجربه عملی در شهرهای میانی ایران بیانگر آن است که عدم یکپارچگی شبکه معابر، پراکندگی عملکردی و ضعف زیرساخت‌های اطلاعاتی، ظرفیت تحول‌پذیری هوشمند را محدود کرده و مانع تحقق اهداف توسعه پایدار و خدمات شهری کارآمد می‌شود. بنابراین، تحلیل هم‌پیوندی ساختار فضایی این شهرها با ظرفیت‌های هوشمند، با رویکردی میان‌رشته‌ای و مبتنی بر داده، نه تنها به شناسایی گلوگاه‌ها و قوت‌های شبکه شهری کمک می‌کند، بلکه زمینه طراحی راهبردهای عملیاتی برای افزایش انعطاف‌پذیری، بهبود حکمرانی داده‌محور و ارتقای کیفیت زندگی شهری را فراهم می‌آورد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد ساختار فضایی شهر سقز در موقعیتی دیالکتیکی بین الگوی توسعه ارگانیک - تاریخی و الگوی برنامه‌ریزی شده مدرن قرار دارد. تحلیل‌های پیشرفته شبکه‌ای مبتنی بر رویکرد چیدمان فضا و بهره‌گیری از الگوریتم‌های تحلیلی نشان داد اگرچه هسته مرکزی شهر از سطح مطلوبی از یکپارچگی ساختاری برخوردار است (میانگین عمق فضایی: ۰/۰۲۳۲)، اما حاشیه‌های شهری از گسست عملکردی قابل توجهی

رنج می‌برند (ضریب تغییرات مجاورت ۶۸/۷ درصد). نتایج کمی پژوهش حاکی از آن است که شهر سقز نیازمند بازتعریف راهبردی مدل حکمرانی فضایی با اتکا بر سه محور اصلی است: نخست، استقرار زیرساخت داده‌محور یکپارچه در ۱۲ گره حیاتی شناسایی شده (با مقادیر مرکزیت بینابینی بالا)؛ دوم، اجرای پابوت‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر تقاضا در ۸ محور کلیدی (با مجاورت پایین)؛ و سوم، طراحی سامانه تصمیم‌گیری پویا با قابلیت پردازش بلادرنگ داده‌های شهری. مطالعه حاضر با محدودیت‌های روش شناختی قابل توجهی مواجه بوده است که شامل عدم دسترسی به داده‌های بلادرنگ ترافیکی و الگوی تحرک شهری، نادیده گرفتن اثر متغیرهای اقتصادی - اجتماعی در مدل‌سازی فضایی و محدودیت در اعتبارسنجی میدانی یافته‌های تحلیلی در مقایسه با پژوهش‌های مشابه می‌شود. یافته‌های این مطالعه از یک‌سو مؤید نتایج بیان (۲۰۲۵) در اهمیت شاخص‌های تلفیقی شبکه معابر است و از سوی دیگر، در تقابل با پارادایم صرفاً فناورانه تاونسند (۲۰۱۳) بر ضرورت تلفیق راهبردهای کالبدی - فضایی با رویکردهای هوشمندسازی تأکید می‌کند. همچنین، همانند پژوهش گیفینگر (۲۰۱۸) بر اهمیت بومی‌سازی الگوهای هوشمندسازی مطابق با ویژگی‌های شهرهای میانی اشاره دارد. برای مطالعات آتی، چهار مسیر پژوهشی اصلی پیشنهاد می‌شود: نخست؛ توسعه چارچوب دینامیک سیستم‌ها برای شبیه‌سازی تأثیر مداخلات هوشمند بر ساختار فضایی، دوم؛ طراحی پلتفرم یکپارچه اینترنت اشیا برای پایش بلادرنگ شاخص‌های کلیدی عملکرد شهری، سوم؛ اجرای مطالعات پانل دیتا برای سنجش پذیرش اجتماعی فناوری‌های هوشمند شهری و چهارم؛ بومی‌سازی الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی الگوی توسعه فضایی. در نهایت این پژوهش گامی به سوی تدوین «الگوی هوشمندسازی بومی برای شهرهای میانی ایران» محسوب می‌شود که می‌تواند به عنوان نقشه راه عملیاتی در برنامه‌ریزی کلان شهری مورد استفاده قرار گیرد و تحقق این الگو مستلزم عزم نهادی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال و ارتقای سواد فناورانه مدیران شهری است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول ۶۰ درصد، نویسنده دوم ۲۰ درصد، و نویسنده سوم ۲۰ درصد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رسانند، به ویژه کسانی که در ارزیابی کیفیت مقاله نقش داشتند، تشکر و قدردانی می کنند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می دارند هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

منابع

- Fan, B., Zhang, Y., Zhang, L., & Yu, W. (2024). Digital characteristics of spatial layout in urban park scene space: Spatial classification, quantitative indicators, and design applications based on completed park cases. *Land*, 13(8), Article 1532. <https://doi.org/10.3390/land13081532>
- Gajdzik, B., Awdziej, M., Jaciow, M., Lipowska, I., Lipowski, M., Szojda, G., Tkaczyk, M., & Grebski, W. W. (2024). Encouraging Residents to Save Energy by Using Smart Transportation: Incorporating the Propensity to Save Energy into the UTAUT Model. *Energies*, 17(21), Article 5341. <https://doi.org/10.3390/en17215341>
- Gehl, J. (2013). *Cities for people*. Island Press.
- Ghorbani, R., Pourahmad, A., Ziari, K., Zanganehshahraki, S., & Habibi, K. (2024). Study and analysis of the future application of smart regeneration in the revitalization of Tehran's central metropolis. *Economics and Urban Planning*, 5(3), 80–105. <https://doi.org/10.22034/uep.2024.471885.1525> [In Persian]
- Giffinger, R., & Haindlmaier, G. (2010). Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of the cities? *ACE: Architecture, City and Environment*, 4(12), 7–25. <https://doi.org/10.5821/ace.v4i12.2483>
- Gillis, D., Semanjski, I., & Lauwers, D. (2016). How to monitor sustainable mobility in cities? Literature review in the frame of creating a set of sustainable mobility indicators. *Sustainability*, 8(1), Article 29. <https://doi.org/10.3390/su8010029>
- Hajjarian, A. (2025). Analysis of the spatial relationship between smart cities and urban livability (case study: Isfahan neighborhoods). *Geography and Environmental Sustainability*, 15(1), 97–114. <https://doi.org/10.22126/ges.2025.11462.2807> [In Persian]
- Hartley, K. (2023). Smart technologies and spatial transformation of urban economies. *Urban Studies*, 60(4), 731–749. <https://doi.org/10.1177/00420980221108602>
- Hegazi, Y., Koch, D., & Rashid, M. (2022). Space syntax and the social logic of urban space: A review. *Urban Design International*, 27(2), 115–132. <https://doi.org/10.1057/s41289-022-00193-x>
- Hollands, R. G. (2015). Critical Interventions into the Corporate Smart City. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 61–77. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu011>
- Hosseini-Rad, A., Amiri, H., Niknami, N., & Beiranvandzadeh, M. (2025). Explaining urban sustainability with the approach of implementing smart city components (case study: Khorramabad). *Quarterly Journal of Sustainable Urban and Regional Development Studies*, 6(3), 78–93. https://www.srds.ir/article_216662.html [In Persian]
- Hu, Y., & Chen, Y. (2022). Coupling Urban Economic Development and Transportation Systems: A Case Study of Urban Agglomeration. *Sustainability*, 14(7), Article 3808. <https://doi.org/10.3390/su14073808>
- Hussain, S., Ahonen, V., & Leviäkangas, P. (2025). Assessing the Sustainability Alignment of Smart Mobility Projects. *Transportation Research Procedia*, 84, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.07.012>
- Jalali, S., Hosseini, Z., Yeganeh, M., & Bemanian, M. (2021). Analysis of the role of spatial coherence and continuity in the geometric structure of traditional Iranian bazaars (case study: Tabriz Bazaar). *Scientific Journal of Architectural Thought*, 5(10), 124–137. <https://doi.org/10.30479/at.2020.12383.1408> [In Persian]
- Kamargianni, M., Matyas, M., & Li, W. (2021). A literature review on interactions between stakeholders through accessibility indicators under the Mobility as a Service context. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 19(4), 468–476. <https://doi.org/10.1007/s13177-021-00257-2>
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- Abagheri Mahabadi, N., Fathi, S., & Zare, Z. (2024). The role of smart city development in efficient governance. *Economics and Urban Planning*, 5(2), 217–202. <https://doi.org/10.22034/uep.2024.472170.1527> [In Persian]
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Askarizad, R., Lamíquiz Daudén, P. J., & Garau, C. (2024). The application of space syntax to enhance sociability in public urban spaces: A systematic review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(7), Article 227. <https://doi.org/10.3390/ijgi13070227>
- Bang, H., Dave, A., & Malikopoulos, A. A. (2024). A mobility equity metric for multi-modal intelligent transportation systems. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2403.10421>
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Beig Mohammadi, M., Charkhchian, M., & Soheili, J. (2025). Investigating the impact of spatial layout components on the quality of social interactions of citizens in traditional and contemporary commercial spaces (case study: Qazvin city). *Shahr-e-Iman Scientific Journal*, 8(1), 59–73. <https://doi.org/10.22034/isp-drc.2024.2027624.1096> [In Persian]
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Chen, C. (2023). Evaluation methods and optimization strategies for low-carbon-oriented urban road network structures: A case study of Shanghai. *Sustainability*, 15(7), Article 5803. <https://doi.org/10.3390/su15075803>
- Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. In R. P. Dameri & C. Rosenthal-Sabroux (Eds.), *Smart city* (pp. 13–43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_2
- Du, T., Liu, J., Lin, B., & Zhang, Y. (2022). Relationship analysis and optimisation of space layout to improve the energy performance of office buildings. *Energies*, 15(4), Article 1268. <https://doi.org/10.3390/en15041268>
- Emami, S., & Zebardast, E. (2014). Evaluation of urban development plans based on the principle of interconnection and connectivity using the AHP method (Case study: Imam Ali Square (AS) Renovation Plan in Isfahan). *Quarterly Journal of Urban Studies*, 3(11), 19–36. https://urbstudies.uok.ac.ir/article_9564.html [In Persian]

- Li, H., Hong, T., & Chen, Y. (2021). *Occupant-centric key performance indicators to inform building design and operations* (Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-2001375). <https://doi.org/10.20357/B7JP49>
- Lin, C., Han, G., Du, J., Xu, T., Shu, L., & Lv, Z. (2020). Spatiotemporal congestion-aware path planning toward intelligent transportation systems in software-defined smart city IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(9), 8012-8024. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2999363>
- Liu, J., Meng, B., Xu, J., & Li, R. (2023). Exploring the public transportation supply-demand structure of Beijing from the perspective of the spatial interaction network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(6), Article 213. <https://doi.org/10.3390/ijgi12060213>
- McCormack, G. R., Koohsari, M. J., Turley, L., Nakaya, T., Shibata, A., Ishii, K., Yasunaga, A., & Oka, K. (2021). Evidence for Urban Design and Public Health Policy and Practice: Space Syntax Metrics and Neighborhood Walking. *Health & Place*, 67, Article 102277. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102277>
- Mohammadzadeh, R. (2015). A comparative study of the development of traditional and new communication networks in the old fabric of Tabriz city. *Iranian Architecture and Urbanism*, 6(2), 83-100. <https://doi.org/10.30475/isau.2016.62009> [In Persian]
- Mohammadzadeh, R., & Fallahnejad, H. (2016). Study of urban pedestrian network patterns and feasibility of their development in the central part of Tabriz city. *Geography and Planning*, 20(58), 237-258. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_5814.html [In Persian]
- Mohamed, A. A., & van der Laag Yamu, C. (2024). Space syntax has come of age: A bibliometric review from 1976 to 2023. *Journal of Planning Literature*, 39(2), 203-217. <https://doi.org/10.1177/08854122231208018>
- Moghim, L., Hanachi, P., & Fadainejad Bahramjerdi, S. (2024). Investigating the changes in the spatial structure of Tehran and the impact of the pedestrian-oriented development plan on it using the spatial syntax technique (case study: the 17 Shahrivar pedestrian-oriented development plan). *Armanshahr Architecture and Urbanism*, 17(48), 115-132. https://www.armanshahrjournal.com/article_188636.html [In Persian]
- Movahed, A., Mostafavi Saheb, S., & Ahmadi, M. (2014). Explaining the spatial and physical expansion pattern of Saqqez city with a sustainable urban form approach. *Studies on Urban Structure and Function*, 2(5), 55-75. https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_895.html [In Persian]
- Mousavi, S. M., & Alizadeh, T. (2020). Smart city policies in Iran: An overview and critique. *Cities*, 101, Article 102113. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102113>
- MüllerEie, D., & Kosmidis, I. (2023). Sustainable mobility in smart cities: a document study of mobility initiatives of mid-sized Nordic smart cities. *European Transport Research Review*, 15, Article 36. <https://doi.org/10.1186/s12544023006104>
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing a smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times* (pp. 282-291). ACM. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
- Norouzvand, H., Masoumi, M., & Bagheri, B. (2025). Application of foresight in identifying key drivers affecting the realization of a smart city, with an emphasis on urban management (case study: Ardabil city). *Geography and Regional Urban Planning*, 15(55), 33-58. <https://doi.org/10.22111/gaij.2025.49418.3222> [In Persian]
- Omran, H., Al-Obaidi, K. M., Hossain, M., Alduais, N. A. M., Al-Duais, H. S., & Ghaffarianhoseini, A. (2024). IoT-enabled smart cities: A hybrid systematic analysis of key research areas, challenges, and recommendations for future direction. *Discover Cities*, 1, Article 2. <https://doi.org/10.1007/s44327-024-00002-w>
- Parkinson, T., Schiavon, S., & Graham, L. T. (2023). Common sources of occupant dissatisfaction with workspace environments in 600 office buildings. *Buildings and Cities*, 4(1), 220-239. <https://doi.org/10.5334/bc.350>
- Ramazanpour Karizki, M., Sarai, M., Esteghlal, A., Al-Madrasi, S., & Hatami-Nasab, S. H. (2023). Explaining the physical and spatial indicators of a smart city (case study: Torbat Heydariyeh city). *Urban Space and Social Life*, 2(4), 73-92. <https://doi.org/10.22034/jprd.2023.16429> [In Persian]
- Saeed, M., Bhatti, U., & Buttar, Z. A. (2023). Smart mobility in urban areas: A bibliometric review and research agenda. *Sustainability*, 15(8), Article 6754. <https://doi.org/10.3390/su15086754>
- Saeedpour, S., Babaei-Aghdam, F., & Teymouri, A. (2014). Evaluating the importance of the performance of urban regeneration indicators based on the damages resulting from inefficient textures (case study of Saqqez city). *Geography and Planning*, 28(89), 282-305. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.54355.3063> [In Persian]
- Saigal, A. (2025). Advancements in Smart Transportation: A Data Analytics Approach for Urban Mobility. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 25(2), 2309-2314.
- Shahinifar, M., & Charehjo, F. (2022). Analyzing the role of spatial configuration in the integration and continuity of urban spaces using the spatial layout method (case study: the central fabric of Kermanshah city). *Geography and Planning*, 26(81), 115-131. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.46048.2871> [In Persian]
- Shen, T. (2022, May). Typology of transportation accessibility for smart and sustainable urban development. In *Second International Conference on Internet of Things and Smart City (IoTSC, 2022)* (Vol. 12249, pp. 839-848). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2641945>
- Statistical Center of Iran. (2016). *Detailed results of the general population and housing census of Saqqez city*. [In Persian]
- Toan, P. Q., & Nhu, V. H. (2020). Smart city development: A case study of Southeast Asian cities. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1698859>
- Townsend, A. M. (2013). *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. W. W. Norton & Company.
- Tung, C. L., He, S., Mei, L., & Zhang, H. (2024). Exploring the influence of transportation on urban spatial structure using the spatial Durbin model: evidence from 265 prefecture-level cities in China. *Computational Urban Science*, 4(1), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00115-3>
- Urban Accessibility Standards. (2021). *Vancouver City Planning*. <https://vancouver.ca/files/cov/vancouver-plan.pdf>
- Urban Mobility Plan Vienna. (2025). <https://sump-central.eu/wp-content/uploads/2020/11/SUMP-Vienna.pdf>
- Wahyulahi, M. (2025). Policy and Technological Synergies in Smart City Transportation. *Sinergi International Journal of Logistics*, 3(1), 43-54.
- Wang, B., Leng, Y., Wang, G., & Wang, Y. (2024). Fusiontransnet for smart urban mobility: Spatiotemporal traffic forecasting through multimodal network integration. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/TITS.2024.3382589>

- Wang, X., Wang, P., Jiao, H., Wu, J., & Han, J. (2025, June). Research on smart city transportation planning strategy based on the decision tree algorithm. In *Second International Conference on Intelligent Transportation and Smart Cities (ICITSC 2025)* (Vol. 13682, pp. 10–18). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3045678>
- Xia, Y., Yeh, A. G. O., & Zhang, A. (2019). Analyzing the spatial structure of urban networks through space syntax. *Cities*, 89, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.025>
- Xing, Z., & Guo, W. (2022). A new urban space analysis method based on space syntax and a geographic information system using multisource data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), Article 297. <https://doi.org/10.3390/ijgi11050297>
- Yang, H., Cui, N., & Xia, H. (2025). The Evolution of the Interaction Between Urban Rail Transit and Land Use: A CiteSpace-Based Knowledge Mapping Approach. *Land*, 14(7), Article 1386. <https://doi.org/10.3390/land14071386>
- Zamanian, M., Hafez Rezazadeh, M., & Miri, G. (2015). Identifying factors affecting the smart growth of Birjand city using fuzzy cartographic model (FCM). *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)*, 15(58), 480–503. https://www.jgeogeshm.ir/article_216819.html [In Persian]
- Zeng, Z., Qin, J., & Wu, T. (2025). A Knowledge Graph-Enhanced Hidden Markov Model for Personalized Travel Routing: Integrating Spatial and Semantic Data in Urban Environments. *Smart Cities*, 8(3), 75. <https://doi.org/10.3390/smartcities8030075>
- Zhand, S., Simons, G., & Karimi, K. (2024). Scaling-Up Space Syntax: Framing Evidence-Based Design and Planning. In *Proceedings of the 14th International Space Syntax Symposium* (pp. 2507–2531). University of Cyprus. <https://doi.org/10.36158/9791256690329110>
- Zhang, J., Wang, Y., Li, S., & Shi, S. (2020). An architecture for IoT-enabled smart transportation security system: A geospatial approach. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6205–6213. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3032834>

