

بررسی نقش فناوری‌های شهر هوشمند در ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و دستیابی به توسعه پایدار شهری

فریبا قربانی خوشنود

کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دانشگاه علامه طباطبائی، کارشناس شهرسازی و معماری
شهرداری فردیس

نام نویسنده مسئول:

فریبا قربانی خوشنود

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش فناوری‌های شهر هوشمند در ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و دستیابی به توسعه پایدار شهری انجام شده است. در مدل پیشنهادی، اینترنت اشیا و زیرساخت‌های ارتباطی، هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده، حکمرانی و خدمات الکترونیکی، حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت هوشمند انرژی و محیط‌زیست و مشارکت دیجیتال شهروندان به عنوان ابعاد فناوری‌های شهر هوشمند در نظر گرفته شده‌اند. کیفیت زندگی شهری نیز براساس دسترسی به خدمات، سلامت و ایمنی، کیفیت محیط، تحرک، رفاه اقتصادی، مشارکت اجتماعی و رضایت از زندگی بررسی می‌شود. پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، کمی، توصیفی-پیمایشی و مقطعی است. جامعه آماری شامل شهروندان ۱۸ سال و بالاتر ساکن هشت کلان‌شهر ایران است و حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران، ۳۸۴ نفر تعیین شده است. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق‌ساخته مبتنی بر مطالعات معتبر داخلی و خارجی است. تحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی انجام می‌شود. مدل پژوهش افزون بر سنجش اثر مستقیم فناوری‌های شهر هوشمند بر کیفیت زندگی و توسعه پایدار، نقش میانجی کیفیت زندگی را نیز ارزیابی می‌کند. نوآوری پژوهش در تلفیق ابعاد فناورانه، انسانی، حکمرانی، عدالت دیجیتال و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در یک چارچوب شهروندمحور و قابل اندازه‌گیری است.

واژگان کلیدی: شهر هوشمند، فناوری‌های شهری، کیفیت زندگی، توسعه پایدار شهری، حکمرانی هوشمند، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا.

مقدمه

رشد شهرنشینی، افزایش تراکم جمعیت، گسترش سفرهای شهری، مصرف فزاینده انرژی، آلودگی‌های محیطی و افزایش تقاضا برای خدمات عمومی، مدیریت شهرهای معاصر را با مسائل پیچیده و چندبعدی مواجه ساخته است. در چنین شرایطی، روش‌های سنتی مدیریت شهری که بر اطلاعات پراکنده، تصمیم‌گیری بخشی و واکنش پس از وقوع مسئله استوارند، توانایی محدودی برای پاسخ‌گویی سریع، هماهنگ و مؤثر به نیازهای شهروندان دارند. فناوری‌های شهر هوشمند با فراهم کردن امکان جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های شهری، زمینه حرکت از مدیریت واکنشی به مدیریت پیش‌نگر، یکپارچه و داده‌محور را فراهم می‌کنند.

شهر هوشمند صرفاً به معنای استفاده گسترده از تجهیزات الکترونیکی، حسگرها و شبکه‌های ارتباطی نیست. هوشمندی زمانی ارزش واقعی پیدا می‌کند که فناوری به افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، دسترسی به خدمات، مشارکت عمومی و بهبود کیفیت زندگی منجر شود. نتایج پژوهش de Guimarães و همکاران نشان داد که شفافیت، همکاری، مشارکت، ارتباطات و پاسخ‌گویی در حکمرانی هوشمند با کیفیت زندگی شهروندان ارتباط معناداری دارند و می‌توانند دستیابی به اهداف توسعه پایدار را تسهیل کنند. (de Guimarães et al., 2020)

در کشورهای درحال توسعه، تحقق شهر هوشمند با توسعه زیرساخت‌های فنی به‌تنهایی امکان‌پذیر نیست. ضعف نهادهای مدیریتی، نابرابری در دسترسی به فناوری، محدودیت سرمایه انسانی، پایین بودن سواد دیجیتال و نبود سازوکارهای مشارکت شهروندی می‌تواند اثربخشی پروژه‌های هوشمندسازی را کاهش دهد. مرور نظام‌مند Tan و Taeihagh نشان داد که اصلاحات فناورانه باید با اصلاحات اجتماعی، اقتصادی، حقوقی و نهادی همراه شود و حکمرانی شهر هوشمند بدون توجه به مشارکت، فراگیری دیجیتال و ظرفیت نهادی نمی‌تواند به توسعه پایدار منجر شود. (Tan & Taeihagh, 2020)

در رویکرد شهر هوشمند پایدار، فناوری هدف نهایی توسعه نیست، بلکه ابزاری برای افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف منابع، بهبود خدمات، حفاظت از محیط‌زیست و ارتقای رفاه شهروندان است. حاتمی و همکاران تأکید می‌کنند که مهم‌ترین مؤلفه‌های شهر هوشمند پایدار شامل کیفیت زندگی، برابری و فراگیری اجتماعی، زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات، بهره‌وری و حفاظت از محیط‌زیست است (حاتمی و همکاران، ۱۴۰۰).

جایگاه موضوع پژوهش حاضر در نقطه اتصال سه حوزه فناوری شهری، کیفیت زندگی و توسعه پایدار قرار دارد. بخشی از مطالعات پیشین بر زیرساخت دیجیتال و کارایی فنی تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که برخی دیگر کیفیت زندگی یا پایداری را مستقل از فرایند هوشمندسازی بررسی کرده‌اند. مرور نظام‌مند Chang و Smith نشان داد که ارزیابی شهرهای هوشمند باید از سنجش تجهیزات و زیرساخت‌ها فراتر رود و ابعادی مانند سلامت، ایمنی، محیط شهری، حمل‌ونقل، روابط اجتماعی، دسترسی به خدمات و رضایت ذهنی شهروندان را در بر گیرد. (Chang & Smith, 2023)

مسئله اصلی پژوهش آن است که توسعه فناوری‌های هوشمند تحت چه شرایطی و از طریق چه سازوکاری به ارتقای کیفیت زندگی و توسعه پایدار شهری منجر می‌شود. سرمایه‌گذاری در سامانه‌های دیجیتال، هوش مصنوعی یا اینترنت اشیا به‌تنهایی تضمین نمی‌کند که شهروندان از خدمات بهتر، محیط سالم‌تر یا فرصت‌های برابرتر برخوردار شوند. یک فناوری ممکن است از نظر فنی کارآمد باشد، اما به دلیل نبود اعتماد، نگرانی‌های امنیتی، طراحی پیچیده، پوشش نابرابر یا ناهماهنگی با نیازهای واقعی شهروندان، آثار اجتماعی محدودی ایجاد کند.

مطالعات جدید نیز بر همین مسئله تأکید دارند Shahraki. نشان می‌دهد که پیوند میان عدالت و پایداری در حکمرانی دیجیتال به کاهش شکاف دیجیتال، حفاظت از داده‌ها، آموزش شهروندان و توزیع عادلانه منافع فناوری وابسته است (Shahraki, 2026). همچنین، نتایج فراتحلیل Hwang و Verhulsdonck تأیید می‌کند که فناوری‌های شهر هوشمند و هوش مصنوعی می‌توانند آثار مثبتی بر پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی داشته باشند؛ بااین حال، میزان اثرگذاری آن‌ها به زمینه اجرا، شیوه حکمرانی و نحوه مشارکت ذی‌نفعان وابسته است. (Hwang & Verhulsdonck, 2026)

ضرورت انجام پژوهش حاضر از آنجا ناشی می‌شود که مدیریت شهری برای تخصیص منابع محدود خود به شواهدی نیاز دارد که مشخص کند کدام فناوری‌ها بیشترین تأثیر را بر زندگی شهروندان دارند. ممکن است یک پروژه هوشمندسازی از نظر تعداد

کاربران یا تجهیزات موفق باشد، اما تأثیر قابل توجهی بر کاهش زمان سفر، دسترسی عادلانه، سلامت، رضایت عمومی یا مصرف منابع نداشته باشد. از این رو، ارزیابی شهر هوشمند باید براساس پیامدهای انسانی، اجتماعی و محیط زیستی انجام شود.

در ایران نیز مطالعاتی درباره شاخص‌ها، زیرساخت‌ها و مدل‌های شهر هوشمند انجام شده است. شمس نجفی و همکاران، زیرساخت‌های شهری هوشمند و حکمرانی هوشمند را عناصر زیربنایی دستیابی به شهر هوشمند پایدار معرفی کرده‌اند (شمس نجفی و همکاران، ۱۴۰۱). بقالی اقدم و همکاران نیز در مدل شهر هوشمند تبریز، بر توسعه اینترنت پرسرعت، حمل‌ونقل هوشمند، کلان‌داده، هوش مصنوعی، اقتصاد دانش‌بنیان، انرژی پایدار و خدمات الکترونیکی تأکید کرده‌اند (بقالی اقدم و همکاران، ۱۴۰۴). با وجود این، هنوز به مدلی نیاز است که تأثیر ابعاد متمایز فناوری را بر کیفیت زندگی و پایداری و همچنین نقش عدالت و مشارکت دیجیتال را به صورت هم‌زمان بررسی کند.

نوآوری پژوهش حاضر در آن است که فناوری شهر هوشمند به عنوان یک متغیر کلی و یک‌بعدی بررسی نمی‌شود، بلکه به شش بعد مشخص و قابل اندازه‌گیری تقسیم می‌شود. افزون بر این، کیفیت زندگی هم به عنوان پیامد مستقیم فناوری و هم به عنوان متغیر میانجی میان فناوری و توسعه پایدار وارد مدل می‌شود. مشارکت الکترونیکی، عدالت دیجیتال، اعتماد عمومی و حفاظت از داده‌ها نیز در کنار ابعاد فنی مورد توجه قرار می‌گیرند.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش بررسی نقش فناوری‌های شهر هوشمند در ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و دستیابی به توسعه پایدار شهری است. اهداف فرعی شامل شناسایی ابعاد اصلی فناوری‌های شهر هوشمند، سنجش تأثیر هر بعد بر کیفیت زندگی، بررسی تأثیر کیفیت زندگی بر پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، ارزیابی نقش میانجی کیفیت زندگی و ارائه چارچوبی برای اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های هوشمند شهری است.

مرور ادبیات و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های داخلی

حاتمی و همکاران در سال ۱۴۰۰ با روش توصیفی-تحلیلی، مفاهیم، ابعاد و شاخص‌های شهر هوشمند پایدار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اگرچه تعریف کاملاً یکسانی از شهر هوشمند پایدار وجود ندارد، هدف نهایی آن دستیابی به توسعه پایدار، ارتقای کیفیت زندگی، برابری اجتماعی، بهره‌وری و حفاظت از محیط زیست است (حاتمی و همکاران، ۱۴۰۰). شمس نجفی، کامیابی و ارغان در سال ۱۴۰۱ الگوی بهینه شهر هوشمند از منظر توسعه پایدار را در شهر ری ارائه کردند. این پژوهش با روش پیمایشی-مقطعی، پرسشنامه و مدل‌سازی حداقل مربعات جزئی انجام شد. زیرساخت‌های شهری هوشمند و حکمرانی هوشمند به عنوان عناصر زیربنایی مدل شناسایی شدند (شمس نجفی و همکاران، ۱۴۰۱). بقالی اقدم، صادقی و نوبهار در سال ۱۴۰۴ مدل شهر هوشمند تبریز در چشم‌انداز ۲۰۳۰ را با روش دلفی، پرسشنامه، نرم‌افزار SPSS و مدل‌سازی معادلات ساختاری بررسی کردند. نتایج بر اهمیت زیرساخت دیجیتال، حمل‌ونقل هوشمند، کلان‌داده، هوش مصنوعی، اقتصاد دانش‌بنیان، انرژی پایدار و خدمات الکترونیکی تأکید داشت (بقالی اقدم و همکاران، ۱۴۰۴).

پژوهش‌های خارجی

de Guimarães و همکاران در سال ۲۰۲۰ با استفاده از روش کمی، پیمایش ۸۲۹ نفر و مدل‌سازی معادلات ساختاری، تأثیر عوامل حکمرانی هوشمند بر کیفیت زندگی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شفافیت، همکاری، مشارکت، ارتباطات و پاسخ‌گویی، پیشران‌های مهم کیفیت زندگی و تحقق اهداف توسعه پایدارند (de Guimarães et al., 2020). Tan و Taeihagh در سال ۲۰۲۰ با مرور نظام‌مند مطالعات شهر هوشمند در کشورهای در حال توسعه، موانع و عوامل موفقیت حکمرانی هوشمند را شناسایی کردند. آنان نتیجه گرفتند که توسعه زیرساخت فناوری باید با تقویت سرمایه انسانی، اصلاحات نهادی، شفافیت، مشارکت شهروندان و فراگیری دیجیتال همراه باشد (Tan & Taeihagh, 2020).

Ji و همکاران در سال ۲۰۲۱ ترجیحات و ادراک شهروندان تایوان را درباره خدمات شهر هوشمند بررسی کردند. نتایج بر ضرورت حرکت از رویکرد فناوری محور به رویکرد انسان محور و طراحی خدمات متناسب با اولویت ها و نیازهای شهروندان تأکید داشت. (Ji et al., 2021)

Zhou و Wang در سال ۲۰۲۲ با استفاده از داده های تابلویی ۷۷ شهر چین و روش های اقتصادسنجی، رابطه پویای اجرای شهر هوشمند و پایداری شهری را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که فناوری اطلاعات، سرمایه انسانی و حکمرانی هوشمند در بلندمدت بر پایداری اثر مثبت دارند، اما شدت آثار میان شهرها متفاوت است. (Wang & Zhou, 2022)

Smith و Chang در سال ۲۰۲۳ با مرور نظام مند ۳۸ مقاله، ابعاد اصلی کیفیت زندگی در شهرهای هوشمند را استخراج کردند. سلامت، ایمنی، حمل و نقل، محیط، دسترسی به خدمات، روابط اجتماعی و رضایت ذهنی از مهم ترین ابعاد شناسایی شده بودند. (Chang & Smith, 2023)

Aisyah و همکاران در سال ۲۰۲۴ با مطالعه حکمرانی شهر هوشمند سمارانگ اندونزی، پیوند میان حکمرانی هوشمند، کیفیت زندگی و توسعه پایدار را بررسی کردند. یافته ها نشان داد که یکپارچه سازی داده ها، نوآوری اداری، همکاری نهادی، خدمات دیجیتال و مشارکت اجتماعی می تواند کیفیت زندگی شهری را بهبود دهد. (Aisyah et al., 2024)

Gu و همکاران در سال ۲۰۲۵ با مرور نظام مند، تحلیل کتاب سنجی و تحلیل محتوای ۸۲ پژوهش، ارتباط میان شهر هوشمند و پایداری را بررسی کردند. نتیجه پژوهش، ارائه چارچوبی برای یکپارچه سازی ابعاد فناورانه، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بود. (Gu et al., 2025)

Valencia-Arias و همکاران در سال ۲۰۲۵ با تحلیل کتاب سنجی ۴۲۷ مدرک و استفاده از پروتکل PRISMA، روندهای پژوهشی توسعه پایدار در شهرهای هوشمند را تحلیل کردند. اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، انرژی، تحرک هوشمند، حکمرانی و مشارکت از محورهای اصلی شناسایی شده بودند. (Valencia-Arias et al., 2025)

Bashir و همکاران در سال ۲۰۲۵ با مرور نظام مند و یکپارچه، رابطه میان شهر هوشمند و شهر پایدار را بررسی کردند. آنان فناوری محوری افراطی، سیاست گذاری پراکنده و مفهوم پردازی نامنسجم را از موانع تحقق شهر هوشمند پایدار دانستند و بر سرمایه انسانی، محیط زیست، مشارکت و داده های باز تأکید کردند. (Bashir et al., 2025)

Salhi و همکاران در سال ۲۰۲۵ چارچوبی مبتنی بر هوش مصنوعی برای مدیریت انرژی، پایش کیفیت هوا، ارزیابی زیرساخت و کاهش انتشار کربن ارائه کردند. این پژوهش ظرفیت روش های یادگیری ماشین را برای تصمیم گیری پیش بینانه و مدیریت پایدار شهری نشان داد. (Salhi et al., 2025)

Jonek-Kowalska در سال ۲۰۲۵ ادراک کیفیت زندگی را میان گروه های مختلف ساکنان شهرهای در حال حرکت به سوی هوشمندی بررسی کرد. یافته ها نشان داد که سن، تحصیلات، وضعیت اقتصادی و محل سکونت بر ارزیابی شهروندان اثر دارد و سیاست های شهر هوشمند باید متناسب با تفاوت های جمعیتی طراحی شوند. (Jonek-Kowalska, 2025)

Verhulsdonck و Hwang در سال ۲۰۲۶ با فراتحلیل ۵۷ اندازه اثر از ۱۷ مطالعه تجربی، آثار فناوری های شهر هوشمند و هوش مصنوعی را بر پایداری کمی سازی کردند. یافته ها اثر مثبت کلی فناوری ها را تأیید کرد و نشان داد که هم افزایی فناوری با اصلاحات حکمرانی، مشارکت عمومی و زیرساخت سبز اهمیت دارد. (Hwang & Verhulsdonck, 2026)

Ling و همکاران در سال ۲۰۲۶ با پیمایش ۴۰۹ شهروند مالزی و تحلیل عاملی، ترجیحات شهروندان درباره خدمات هوشمند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اولویت خدمات شهر هوشمند باید براساس نیازهای واقعی شهروندان و شرایط نهادی کشورهای در حال توسعه تعیین شود. (Ling et al., 2026)

Shahraki در سال ۲۰۲۶ رابطه عدالت و پایداری را در حکمرانی دیجیتال چنگدو بررسی کرد. نتایج بر ضرورت کاهش شکاف دیجیتال، تقویت سواد فناوری، حفاظت از داده ها و توزیع عادلانه منافع هوشمندسازی تأکید داشت. (Shahraki, 2026)

جدول ۱. مرور پژوهش‌های داخلی و خارجی

سال	نویسنده/نویسندگان	روش پژوهش	مهم‌ترین دستاورد
۲۰۲۰	de Guimarães و همکاران	پیمایش ۸۲۹ شهروند و مدل‌سازی معادلات ساختاری	تأیید اثر شفافیت، مشارکت، همکاری، ارتباطات و پاسخ‌گویی بر کیفیت زندگی.
۲۰۲۰	Taeihagh و Tan	مرور نظام‌مند ۵۶ مطالعه و تحلیل مضمون	ضرورت اصلاحات نهادی، حقوقی و اجتماعی در کنار زیرساخت فناوری.
۲۰۲۱/۱۴۰۰	حاتمی و همکاران	توصیفی-تحلیلی	استخراج ابعاد شهر هوشمند پایدار با تأکید بر کیفیت زندگی، برابری و محیط‌زیست.
۲۰۲۱	Ji و همکاران	مطالعه موردی و بررسی ترجیحات شهروندان تایوان	ضرورت طراحی خدمات هوشمند براساس نیازهای واقعی شهروندان.
۲۰۲۲	Zhou و Wang	داده‌های تابلویی ۷۷ شهر، PVAR و هماهنگی کوپلینگ	اثر بلندمدت فناوری اطلاعات، سرمایه انسانی و حکمرانی بر پایداری.
۲۰۲۲/۱۴۰۱	شمس نجفی و همکاران	پیمایش مقطعی، ۳۸۴ نمونه و PLS-SEM	شناسایی زیرساخت و حکمرانی هوشمند به‌عنوان پایه‌های شهر هوشمند پایدار.
۲۰۲۳	Smith و Chang	مرور نظام‌مند ۳۸ مقاله	استخراج ابعاد اجتماعی، محیطی، خدماتی و ذهنی کیفیت زندگی.
۲۰۲۴	Aisyah و همکاران	مطالعه موردی حکمرانی شهر سمارانگ	تأکید بر یکپارچه‌سازی داده، خدمات دیجیتال، نوآوری و مشارکت اجتماعی.
۲۰۲۵	Gu و همکاران	مرور نظام‌مند، تحلیل کتاب‌سنجی و محتوای ۸۲ مقاله	ارائه چارچوب پیوند شهر هوشمند با ابعاد چندگانه پایداری.
۲۰۲۵	Valencia-Arias و همکاران	تحلیل کتاب‌سنجی ۴۲۷ مقاله براساس PRISMA	شناسایی اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، انرژی، تحرک و مشارکت به‌عنوان روندهای اصلی.
۲۰۲۵	Bashir و همکاران	مرور نظام‌مند و یکپارچه	نقد فناوری محوری و تأکید بر سیاست یکپارچه، داده باز و مشارکت.
۲۰۲۵	Salhi و همکاران	یادگیری ماشین بر شش مجموعه داده	ارائه چارچوب هوش مصنوعی برای انرژی، محیط‌زیست و تاب‌آوری زیرساخت.
۲۰۲۵/۱۴۰۴	بقالی اقدم و همکاران	دلفی، پیمایش و مدل‌سازی PLS	ارائه مدل شهر هوشمند تبریز در ابعاد محیطی، اقتصادی و حکمرانی.
۲۰۲۵	Jonek-Kowalska	پیمایش و مقایسه گروه‌های اجتماعی و شهرها	اثبات ضرورت سیاست‌های فراگیر و متناسب با گروه‌های جمعیتی.
۲۰۲۶	Hwang و Verhulsdonck	فرا تحلیل ۵۷ اندازه اثر از ۱۷ مطالعه	تأیید کمی آثار فناوری هوشمند بر پایداری و اهمیت هوش مصنوعی.
۲۰۲۶	Ling و همکاران	پیمایش ۴۰۹ شهروند و تحلیل عاملی	شناسایی ترجیحات شهروندان نسبت به خدمات هوشمند در کشور در حال توسعه.
۲۰۲۶	Shahraki	تحلیل موردی حکمرانی دیجیتال چنگدو	برجسته‌سازی عدالت دیجیتال، سواد فناوری و حفاظت از داده.
۲۰۲۶	Pazos-García و همکاران	مرور نگاشت نظام‌مند و تحلیل ۱۳۹ مقاله	تعیین مؤلفه‌های حکمرانی مؤثر بر کیفیت زندگی شهری.

شکاف پژوهشی

مرور مطالعات نشان می‌دهد که ادبیات موجود با وجود پیشرفت‌های نظری و تجربی، همچنان با چند کمبود روبه‌رو است. نخست، در بسیاری از پژوهش‌ها فناوری شهر هوشمند به عنوان یک سازه کلی در نظر گرفته شده و اثر مستقل فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، خدمات الکترونیکی، حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت محیط‌زیست مشخص نشده است. دوم، کیفیت زندگی و توسعه پایدار اغلب جداگانه بررسی شده‌اند و پژوهش‌های محدودی زنجیره کامل اثرگذاری فناوری بر کیفیت زندگی و سپس توسعه پایدار را آزمون کرده‌اند. سوم، عدالت دیجیتال، اعتماد شهروندان، حریم خصوصی و مشارکت الکترونیکی در بسیاری از مدل‌ها جایگاه محدودی دارند. چهارم، بخش مهمی از مطالعات داخلی بر دیدگاه مدیران و کارشناسان متمرکز بوده و تجربه مستقیم شهروندان کمتر مورد سنجش قرار گرفته است. پژوهش حاضر با تفکیک فناوری‌های هوشمند به شش بعد، بررسی نقش میانجی کیفیت زندگی و واردکردن عدالت و مشارکت دیجیتال در مدل، درصدد پوشش این کمبودهاست.

روش تحقیق

نوع و طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، کمی، توصیفی-پیمایشی و مقطعی است. روش توصیفی برای تبیین وضعیت فناوری‌های هوشمند، کیفیت زندگی و توسعه پایدار و روش پیمایشی برای گردآوری دیدگاه شهروندان به کار گرفته می‌شود.

جامعه آماری شامل شهروندان ۱۸ سال و بالاتر ساکن کلان‌شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز، تبریز، کرج، اهواز و قم است. ورود افراد به نمونه مستلزم حداقل سه سال سابقه سکونت و تجربه استفاده از حداقل یکی از خدمات الکترونیکی یا هوشمند شهری است.

حجم نمونه و شیوه نمونه‌گیری

با توجه به گستردگی جامعه آماری، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران برای جامعه نامحدود (بزرگ) محاسبه می‌شود:

$$n_0 = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2} \quad (1)$$

در این رابطه:

$$Z = 1.96 \text{ (مقدار بحرانی در سطح اطمینان ۹۵\%)}$$

$$p = 0.5 \text{ (نسبت موفقیت یا توزیع متغیر)}$$

$$q = 1 - p = 0.5 \text{ (نسبت عدم موفقیت)}$$

$$d = 0.05 \text{ (سطح خطای مجاز یا دقت برآورد)}$$

بنابراین، جای‌گذاری مقادیر به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 \times (0.5) \times (0.5)}{(0.05)^2} = \frac{3.8416 \times 0.25}{0.0025} = \frac{0.9604}{0.0025} = 384.16 \approx 384 \quad (2)$$

در نتیجه، حجم نمونه کل پژوهش برابر با ۳۸۴ نفر تعیین می‌شود. جهت ایجاد امکان مقایسه متوازن میان هشت کلان‌شهر، تخصیص نمونه به صورت طبقه‌ای مساوی انجام می‌شود:

$$n_h = \frac{n}{H} \quad (3)$$

که در آن، n_h حجم نمونه هر طبقه، n حجم کل نمونه و H تعداد کلان‌شهرهاست:

$$n_h = \frac{384}{8} = 48 \quad (4)$$

بنابراین، از هر کلان‌شهر ۴۸ شهروند انتخاب می‌شود. نمونه‌گیری در هر شهر به صورت طبقه‌ای چندمرحله‌ای انجام می‌گیرد؛ به این ترتیب که مناطق شهری به عنوان طبقات اولیه و محله‌ها به عنوان طبقات ثانویه در نظر گرفته می‌شوند.

ابزار گردآوری داده‌ها

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق‌ساخته است. این پرسشنامه شامل اطلاعات جمعیت‌شناختی و ۴۵ گویه اصلی است که بر اساس طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت (از «کاملاً مخالفم = ۱» تا «کاملاً موافقم = ۵») تنظیم شده است:

فناوری‌های شهر هوشمند (۲۴ گویه) در ۶ بعد:

اینترنت اشیا و زیرساخت دیجیتال؛

هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده؛

حکمرانی و خدمات الکترونیکی؛

حمل‌ونقل و تحرک هوشمند؛

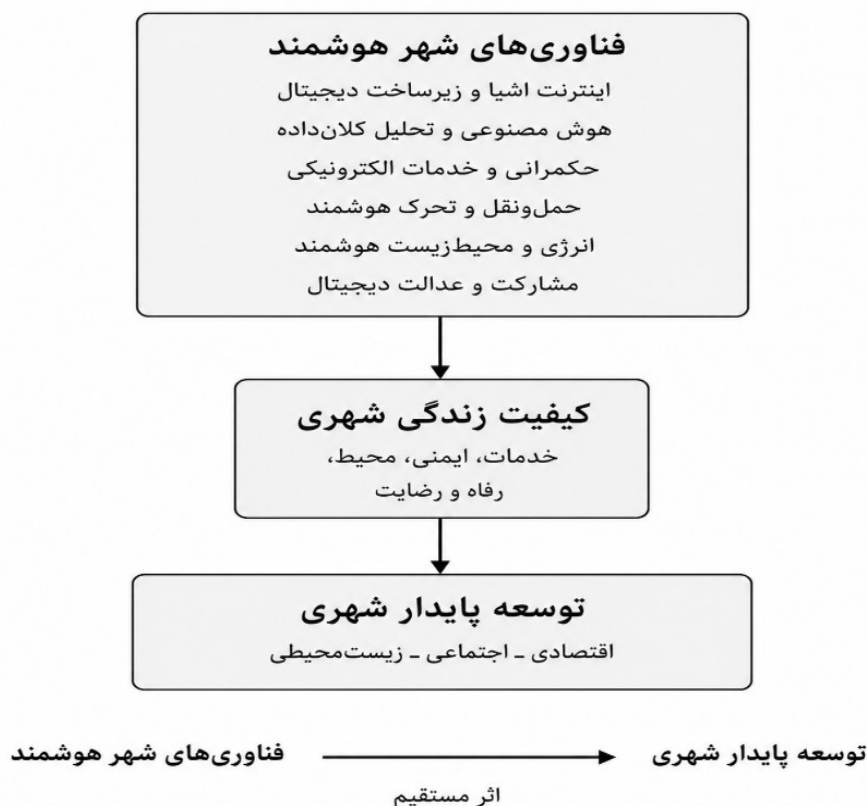
مدیریت هوشمند انرژی و محیط‌زیست؛

مشارکت الکترونیکی و عدالت دیجیتال.

کیفیت زندگی شهری (۱۲ گویه): شامل دسترسی به خدمات، سلامت و ایمنی، کیفیت محیط، تحرک، رفاه اقتصادی، روابط اجتماعی و رضایت کلی از زندگی.

توسعه پایدار شهری (۹ گویه): در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی.

مدل مفهومی پژوهش



شکل (۱). چارچوب مفهومی ساختاری پژوهش

فرضیه‌های پژوهش

فرضیه اصلی اول: فناوری‌های شهر هوشمند بر کیفیت زندگی شهروندان تأثیر مثبت و معناداری دارند.
فرضیه اصلی دوم: کیفیت زندگی شهروندان بر توسعه پایدار شهری تأثیر مثبت و معناداری دارد.
فرضیه اصلی سوم: فناوری‌های شهر هوشمند بر توسعه پایدار شهری تأثیر مثبت و معناداری دارند.
فرضیه اصلی چهارم: کیفیت زندگی در رابطه میان فناوری‌های شهر هوشمند و توسعه پایدار شهری نقش میانجی دارد.
فرضیه‌های فرعی: بررسی تأثیر جداگانه ابعاد شش‌گانه شهر هوشمند (اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، حکمرانی الکترونیک، حمل‌ونقل هوشمند، محیط‌زیست هوشمند و مشارکت دیجیتال) بر کیفیت زندگی شهری.

معادلات ساختاری پژوهش

مدل رگرسیونی ساختاری تأثیر فناوری‌های شهر هوشمند بر کیفیت زندگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$QOL = \beta_0 + \beta_1 IOT + \beta_2 AI + \beta_3 EGOV + \beta_4 MOB + \beta_5 ENV + \beta_6 EPART + \varepsilon_1 \quad (5)$$

در این معادله:

QOL : کیفیت زندگی شهری؛

IOT : اینترنت اشیا و زیرساخت دیجیتال؛

AI : هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده؛

$EGOV$: حکمرانی و خدمات الکترونیکی؛

MOB : حمل‌ونقل هوشمند؛

ENV : مدیریت هوشمند انرژی و محیط‌زیست؛

$EPART$: مشارکت و عدالت دیجیتال؛

β_0 : مقدار ثابت؛

β_1 تا β_6 : ضرایب مسیر (وزن‌های رگرسیونی)؛

ε_1 : جمله خطای مدل.

مدل ساختاری توسعه پایدار شهری به صورت زیر بیان می‌شود:

$$SUD = \gamma_0 + \gamma_1 QOL + \gamma_2 TECH + \gamma_3 GOV + \varepsilon_2 \quad (6)$$

در این معادله:

SUD : توسعه پایدار شهری؛

QOL : کیفیت زندگی؛

$TECH$: ظرفیت کلی فناوری‌های شهر هوشمند؛

GOV : حکمرانی هوشمند؛

γ_0 : مقدار ثابت؛

γ_1 تا γ_3 : ضرایب مسیر؛

ε_2 : جمله خطای مدل.

اثر غیرمستقیم (IE) فناوری‌های شهر هوشمند بر توسعه پایدار از طریق کیفیت زندگی برابر است با:

$$IE = \beta_{TECH \rightarrow QOL} \times \gamma_{QOL \rightarrow SUD} \quad (7)$$

اثر کل (TE) فناوری‌های شهر هوشمند بر توسعه پایدار نیز از مجموع اثر مستقیم (DE) و غیرمستقیم (IE) محاسبه می‌شود:

$$TE = DE + IE \quad (8)$$

ارزیابی روایی و پایایی ابزار

۱. روایی محتوایی

برای ارزیابی روایی محتوا از نظر ۱۲ نفر از متخصصان ($N = 12$) استفاده می‌شود. نسبت روایی محتوایی (CVR) بر اساس فرمول لاوشه محاسبه می‌گردد:

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (9)$$

که در آن، n_e تعداد متخصصانی است که گویه را «ضروری» تشخیص داده‌اند و N تعداد کل متخصصان است. شاخص روایی محتوایی (CVI) نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CVI = \frac{N_A}{N} \quad (10)$$

که در آن، N_A تعداد متخصصانی است که گویه را از نظر ارتباط، وضوح و سادگی مناسب ارزیابی کرده‌اند. پایایی ابزار

پایایی درونی پرسشنامه با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ ارزیابی می‌شود:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_T^2} \right) \quad (11)$$

که در آن k تعداد گویه‌ها، σ_i^2 واریانس گویه i ام و σ_T^2 واریانس کل آزمون است. پایایی ترکیبی (CR) نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CR = \frac{(\sum_{i=1}^k \lambda_i)^2}{(\sum_{i=1}^k \lambda_i)^2 + \sum_{i=1}^k (1 - \lambda_i^2)} \quad (12)$$

که در آن، λ_i بار عاملی مربوط به هر گویه است. مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بالاتر از ۰/۷ نشان‌دهنده پایایی ساختاری مناسب هستند (Hair et al., 2022).

۳. روایی همگرا و واگرا

روایی همگرا با شاخص میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) سنجیده می‌شود:

$$AVE = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i^2}{k} \quad (13)$$

مقدار $AVE > 0.5$ نشان‌دهنده روایی همگرایی مناسب است. روایی واگرا نیز با معیار فورنل-لارکر و نسبت HTMT (کمتر از ۰/۸۵) ارزیابی می‌شود.

روش تحلیل داده‌ها

در سطح توصیفی، از شاخص‌های میانگین و انحراف معیار استفاده می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (14)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (15)$$

در سطح استنباطی، تحلیل عاملی تأییدی و مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) با نرم‌افزار SmartPLS و روش بوت‌استرپ (۵۰۰۰ بازنمونه) انجام می‌پذیرد.

معیار تصمیم‌گیری معناداری ضرایب عبارت است از:

$$|t| > 1.96 \text{ و } p < 0.05 \quad (16)$$

ضریب تعیین مدل (R^2) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (17)$$

که در آن SS_{res} مجموع مربعات باقی مانده ها و SS_{tot} مجموع کل مربعات است. اندازه اثر (f^2) هر متغیر مستقل از رابطه زیر به دست می آید:

$$f^2 = \frac{R_{included}^2 - R_{excluded}^2}{1 - R_{included}^2} \quad (18)$$

قدرت پیش بینی مدل خارج از نمونه نیز با شاخص استون-گایزر (Q^2) سنجیده می شود:

$$Q^2 = 1 - \frac{SSE}{SSO} \quad (19)$$

که در آن،

(SSE): مجموع مجذورات خطای پیش بینی؛

(SSO): مجموع مجذورات مشاهدات است.

مثبت بودن مقدار (Q^2) نشان می دهد که مدل از قابلیت پیش بینی برخوردار است.

نتایج تحلیلی پژوهش

نقش فناوری های هوشمند در کیفیت زندگی

تحلیل مدل مفهومی نشان می دهد که فناوری های شهر هوشمند از چند مسیر بر کیفیت زندگی شهروندان اثر می گذارند. خدمات الکترونیکی می توانند زمان و هزینه دریافت خدمات را کاهش دهند و دسترسی شهروندان را به خدمات عمومی افزایش دهند. یکپارچه سازی سامانه ها نیز از تکرار ثبت اطلاعات، مراجعات متعدد و سردرگمی شهروندان جلوگیری می کند. حمل و نقل هوشمند با مدیریت هماهنگ تقاطع ها، ارائه اطلاعات لحظه ای، مسیریابی، مدیریت پارکینگ و یکپارچه سازی پرداخت، زمان سفر و تنش ناشی از ترافیک را کاهش می دهد. بهبود تحرک شهری دسترسی افراد به آموزش، اشتغال، درمان و فعالیت های اجتماعی را نیز افزایش می دهد.

حسگرهای محیطی و سامانه های هوشمند انرژی امکان پایش مستمر کیفیت هوا، آلودگی صوتی، مصرف آب و انرژی و وضعیت پسماند را فراهم می کنند. تبدیل داده های لحظه ای به تصمیم های اجرایی می تواند سرعت واکنش مدیریت شهری به مسائل محیط زیستی را افزایش دهد.

هوش مصنوعی و تحلیل کلان داده نیز امکان پیش بینی تقاضای خدمات، شناسایی مناطق پرخطر، مدیریت بحران، بهینه سازی منابع و تشخیص الگوهای غیرعادی را فراهم می کند. باین حال، میزان اثرگذاری این فناوری ها به کیفیت داده ها، توان تخصصی سازمان ها و شفافیت الگوریتم ها وابسته است.

نقش کیفیت زندگی در توسعه پایدار

کیفیت زندگی سازوکاری است که منافع فناوری را به پیامدهای پایدار تبدیل می کند. کاهش زمان سفر، افزایش ایمنی، بهبود دسترسی، کاهش آلودگی و افزایش رضایت شهروندان می تواند پایداری اجتماعی را تقویت کند. کاهش هزینه های عملیاتی، صرفه جویی در انرژی و افزایش بهره وری نیز به پایداری اقتصادی منجر می شود.

بهبود کیفیت محیط شهری، کاهش مصرف منابع، مدیریت پسماند و کاهش انتشار آلاینده ها نیز بعد زیست محیطی پایداری را تقویت می کند. بنابراین، توسعه فناوری زمانی به توسعه پایدار منجر می شود که آثار آن در زندگی روزمره شهروندان قابل مشاهده باشد.

نقش عدالت و مشارکت دیجیتال

توسعه خدمات هوشمند بدون توجه به عدالت دیجیتال ممکن است موجب افزایش نابرابری شود. سالمندان، افراد دارای معلولیت، خانوارهای کم‌درآمد و افراد دارای مهارت دیجیتال محدود ممکن است امکان استفاده کامل از خدمات را نداشته باشند. به همین دلیل، ارائه خدمات باید به صورت چندکاناله و همراه با آموزش و پشتیبانی انجام شود. مشارکت دیجیتال نیز زمانی مؤثر است که شهروندان بتوانند نتیجه نظرات، گزارش‌ها و پیشنهادهای خود را مشاهده کنند. سامانه‌ای که صرفاً داده‌های شهروندان را دریافت کند اما پاسخ روشن یا نتیجه قابل پیگیری ارائه ندهد، به افزایش اعتماد عمومی منجر نخواهد شد.

بهبود مدل پیشنهادی نسبت به مطالعات موجود

مدل پژوهش حاضر نسبت به رویکردهای پیشین چند بهبود اساسی دارد. نخست، فناوری شهر هوشمند را به شش بعد مستقل تقسیم می‌کند و امکان مقایسه میزان اثرگذاری هر بعد را فراهم می‌سازد. در نتیجه، مدیران شهری می‌توانند تشخیص دهند کدام حوزه برای سرمایه‌گذاری اولویت بیشتری دارد. دوم، کیفیت زندگی در مدل تنها یک پیامد نهایی نیست، بلکه نقش آن در تبدیل ظرفیت فناوری به توسعه پایدار نیز بررسی می‌شود. این رویکرد سازوکار اثرگذاری فناوری را روشن‌تر می‌کند. سوم، متغیرهای عدالت دیجیتال، مشارکت، اعتماد و حفاظت از داده‌ها در کنار زیرساخت و کارایی فنی وارد مدل شده‌اند. بنابراین، موفقیت شهر هوشمند صرفاً با تعداد حسگرها، نرم‌افزارها یا خدمات دیجیتال سنجیده نمی‌شود. چهارم، جامعه پژوهش به یک شهر محدود نیست و هشت کلان‌شهر ایران را در بر می‌گیرد. تخصیص برابر نمونه به شهرها امکان مقایسه شرایط مدیریتی، اجتماعی و زیرساختی را فراهم می‌کند. پنجم، مدل قابلیت تبدیل نتایج آماری به اولویت‌های اجرایی را دارد. ضرایب مسیر، اندازه اثر و قدرت پیش‌بینی می‌توانند نشان دهند که کدام فناوری بیشترین اثر اجتماعی و محیط‌زیستی را ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فناوری‌های شهر هوشمند از ظرفیت قابل توجهی برای ارتقای کیفیت زندگی و تحقق توسعه پایدار شهری برخوردارند، اما برخورداری از فناوری به تنهایی نشان‌دهنده هوشمندی شهر نیست. شهر هوشمند زمانی موفق است که فناوری به حل مسائل واقعی شهروندان، بهبود خدمات، کاهش هزینه، صرفه‌جویی در زمان، افزایش ایمنی و حفاظت از محیط‌زیست منجر شود. چارچوب پژوهش نشان می‌دهد که اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، خدمات الکترونیکی، حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت محیط‌زیست و مشارکت دیجیتال اجزای مکمل یک نظام یکپارچه‌اند. ضعف در حکمرانی داده، نبود هماهنگی نهادی یا دسترسی نابرابر می‌تواند اثربخشی سرمایه‌گذاری‌های فناورانه را کاهش دهد. کیفیت زندگی در این چارچوب، حلقه واسط میان فناوری و پایداری است. اگر شهروندان بهبود ملموسی در دسترسی، سلامت، ایمنی، تحرک، محیط و رضایت از زندگی تجربه نکنند، افزایش تعداد تجهیزات یا سامانه‌های دیجیتال نمی‌تواند نشانه موفقیت سیاست هوشمندسازی باشد.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود مدیریت شهری سامانه‌های اطلاعاتی پراکنده را در قالب یک زیرساخت داده‌ای یکپارچه سامان‌دهی کند. استانداردهای مشخصی برای کیفیت، امنیت، مالکیت، تبادل و نگهداری داده‌ها باید تدوین شود و دسترسی سازمان‌های مختلف به داده‌های شهری براساس سطح مسئولیت تنظیم گردد.

خدمات الکترونیکی باید با بازطراحی فرایندهای اداری همراه شوند. تبدیل فرم کاغذی به فرم دیجیتال، بدون حذف مراحل زائد، کاهش زمان پاسخ‌گویی و افزایش شفافیت، هوشمندسازی واقعی محسوب نمی‌شود.

در حوزه حمل‌ونقل، توسعه اطلاعات لحظه‌ای، پرداخت یکپارچه، مدیریت هوشمند تقاطع‌ها، پارکینگ هوشمند و تحلیل الگوهای سفر پیشنهاد می‌شود. اولویت سیاست‌گذاری باید تقویت حمل‌ونقل عمومی و کاهش وابستگی به خودروی شخصی باشد.

در حوزه محیط‌زیست، ایجاد شبکه حسگرهای پایش آلودگی هوا، صدا، آب، انرژی و پسماند باید با سازوکار پاسخ سریع و انتشار عمومی اطلاعات همراه شود. داده‌ای که به اقدام اجرایی منجر نشود، ارزش محدودی برای پایداری شهری دارد. استفاده از هوش مصنوعی باید با شفافیت الگوریتمی، نظارت انسانی و حفاظت از حریم خصوصی همراه باشد. شهروندان باید بدانند چه اطلاعاتی گردآوری می‌شود، هدف استفاده از داده چیست و چگونه می‌توانند درباره اطلاعات شخصی خود تصمیم‌گیری کنند.

برای کاهش شکاف دیجیتال، خدمات شهری باید به‌صورت حضوری، تلفنی و دیجیتال در دسترس باشند. طراحی ساده سامانه‌ها، آموزش سواد دیجیتال، رعایت نیازهای سالمندان و افراد دارای معلولیت و تقویت زیرساخت در مناطق کم‌برخوردار ضروری است.

در نهایت، ارزیابی پروژه‌های هوشمند باید از شاخص‌های فنی فراتر رود و معیارهایی مانند رضایت شهروندان، کاهش زمان سفر، کاهش هزینه خدمات، افزایش دسترسی، کاهش مصرف انرژی، بهبود کیفیت هوا، افزایش اعتماد عمومی و توزیع عادلانه منافع را در بر گیرد.

منابع و مراجع

- [۱] بقالی اقدم، ل.، صادقی، س. ک.، و نوبهار، ا. (۱۴۰۴). مدل‌سازی شهر هوشمند تبریز در چشم‌انداز ۲۰۳۰: بررسی جامع شاخص‌های محیطی، اقتصادی و حکمرانی. اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری، ۱۶(۱)، ۵۸-۷۵. doi: 10.22034/uep.2025.501394.1588
- [۲] حاتمی، ا.، ساسان‌پور، ف.، زیپارو، آ.، و سلیمانی، م. (۱۴۰۰). شهر هوشمند پایدار: مفاهیم، ابعاد و شاخص‌ها. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱(۶۰)، ۳۱۵-۳۳۹. doi: 10.52547/jgs.21.60.315339-315
- [۳] شمس نجفی، ف. س.، کامیابی، س.، و ارغان، ع. (۱۴۰۱). ارائه الگوی بهینه شهر هوشمند از منظر توسعه پایدار شهری: مطالعه موردی شهر ری. آمایش سرزمین، ۱۴(۲)، ۶۲۳-۶۴۹. doi: 10.22059/jtcp.2022.346547.670338
- [4] Aisyah, S., Hidayah, Z., Juniadi, D., Purnomo, E. P., Wibowo, A. M., & Harta, R. (2024). Transforming smart city governance for quality of life and sustainable development in Semarang City, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(9), 3443–3452. doi: 10.18280/ijstdp.190914
- [5] Bashir, M. F., Ragmoun, W., Abdulaziz, A., & Bashir, M. (2025). Analyzing sustainable urban development through smart and sustainable cities: An integrated review. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1685716. doi: 10.3389/frsc.2025.1685716
- [6] Chang, S., & Smith, M. K. (2023). Residents' quality of life in smart cities: A systematic literature review. *Land*, 12(4), 876. doi: 10.3390/land12040876
- [7] de Guimarães, J. C. F., Severo, E. A., Felix Júnior, L. A., da Costa, W. P. L. B., & Salmoria, F. T. (2020). Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119926. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119926
- [8] Gu, Q., Sing, M. C. P., Jefferies, M., & Kanjanabootra, S. (2025). Bridging the gap between smart cities and sustainability: Current practices and future trends. *Cities*, 159, 105799. doi: 10.1016/j.cities.2025.105799
- [9] Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3rd ed.)*. SAGE Publications.
- [10] Hwang, M., & Verhulsdonck, G. (2026). Quantifying the sustainability impacts of smart cities and AI: A meta-analysis. *Sustainable Cities and Society: Advances*, 2(1), 100027. doi: 10.1016/j.scsadv.2026.100027
- [11] Ji, T., Chen, J.-H., Wei, H.-H., & Su, Y.-C. (2021). Towards people-centric smart city development: Investigating citizens' preferences and perceptions about smart-city services in Taiwan. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102691. doi: 10.1016/j.scs.2020.102691
- [12] Jonek-Kowalska, I. (2025). Perceptions of quality of life among various groups of residents in cities aspiring to be smart in a developing economy. *Smart Cities*, 8(6), 189. doi: 10.3390/smartcities8060189
- [13] Ling, K. J., Wong, S. Y., Ding, C. S., Low, W. W., & Ling, P.-S. (2026). Preferences on smart cities services in developing country: Perspectives of citizens. *Sustainable Cities and Society: Advances*, 2(2), 100041. doi: 10.1016/j.scsadv.2026.100041
- [14] Salhi, A., Algarni, F., Alshamrani, R., Althbiti, A., Ismail, A., & Hassan, B. M. (2025). Leveraging artificial intelligence to enable sustainable urban development through the creation of smart and environmentally friendly carbon-free cities. *Scientific Reports*, 15, 35791. doi: 10.1038/s41598-025-16801-z
- [15] Shahraki, A. A. (2026). Smart cities for all? Assessing the equity-sustainability nexus in Chengdu's digital governance. *Journal of Urban Management*, 15(3), 1195–1207. doi: 10.1016/j.jum.2026.01.003
- [16] Tan, S. Y., & Taeihagh, A. (2020). Smart city governance in developing countries: A systematic literature review. *Sustainability*, 12(3), 899. doi: 10.3390/su12030899
- [17] Valencia-Arias, A., Martínez Rojas, E., García Pineda, V., Agudelo-Ceballos, E., Castañeda Rodríguez, L. R., Espinoza Requejo, C. C., Cardona-Acevedo, S., Londoño-Celis, W., & Alvitez

- Adan, T. E. (2025). Research trends on sustainable development in smart cities. *Discover Sustainability*, 6, 369. doi: 10.1007/s43621-025-01210-z
- [18] Wang, M., & Zhou, T. (2022). Understanding the dynamic relationship between smart city implementation and urban sustainability. *Technology in Society*, 70, 102018. doi: 10.1016/j.techsoc.2022.102018