Evaluating the Impact of Artificial Intelligence Implementation on Urban Sustainability in Tabriz

Ali Zeynali Azim[1]

Abstract

Introduction: In recent years, the city of Tabriz has faced numerous challenges in areas such as traffic management, high energy consumption, water shortages, and a reduction in green spaces. These issues have contributed to increased environmental pollution and a decline in the quality of life for its citizens. Among the proposed solutions to these urban problems is the application of artificial intelligence (AI) to address urban issues. The purpose of this study is to evaluate the impact of AI on urban sustainability and examine how smart technologies can enhance urban infrastructure.

Method: The research method is descriptive-analytical and survey-based. The data collection tool was a questionnaire using a 5-point Likert scale, which was distributed among urban managers, experts, and specialist professors in Tabriz. Using Cochran's formula with an unlimited population, the sample size was determined to be 384, and purposeful sampling was employed. For data analysis, structural equation modeling (SEM) was used, utilizing SmartPLS and SPSS software.

Findings: The results show that AI has a significant impact on traffic management ($\beta = 0.62$), energy consumption optimization ($\beta = 0.58$), water resource management ($\beta = 0.53$), and green space design ($\beta = 0.67$). These findings indicate the high potential of AI in improving urban infrastructure performance and reducing negative environmental impacts.

Conclusion: The results of this research suggest that the use of AI can play a key role in enhancing the sustainability of Tabriz city. By reducing resource consumption and improving the quality of urban services, AI can contribute to the creation of smarter, more sustainable cities.

Keywords: Smart City, Artificial Intelligence, Urban Sustainability, Tabriz

1. Postdoctoral student of Urban Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei, University, Tehran, Iran. E-mail: al.zeynaly@gmail.com

پژوهشی
popsci.2025.477115.1359/10.22034

ارزیابی تأثیر بکارگیری هوش مصنوعی در پایداری شهر تبریز

علی زینالی عظیم[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲ پذیرش ۱۴۰۴/۰۳/۰۸

چکیده

مقدمه: شهر تبریز در سال‌های اخیر با چالش‌های متعددی در حوزه مدیریت ترافیک، مصرف انرژی بالا، کمبود منابع آب و کاهش فضاهای سبز روبرو بوده است. این مشکلات باعث افزایش آلودگی محیط‌زیستی و کاهش کیفیت زندگی شهروندان شده و در این میان، یکی از راه‌حل‌های مطرح شده در رابطه با مشکلات شهری استفاده از هوش مصنوعی در مسائل شهری است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر بکارگیری هوش مصنوعی بر پایداری شهری و چگونگی بهبود زیرساخت‌های شهری از طریق فناوری‌های هوشمند است.

روش: روش تحقیق به‌صورت توصیفی-تحلیلی و از نوع پیمایشی است. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه‌ای و براساس طیف لیکرت ۵ درجه‌ای بود که بین مدیران و کارشناسان شهری و اساتید متخصص در شهر تبریز توزیع شد. با استفاده از فرمول کوکران با حجم نامحدود، حجم نمونه ۳۸۴ نفر تعیین شد و نمونه‌گیری به هدفمند انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار smartPls و Spss استفاده شد.

یافته ها: یافته ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تأثیر معناداری بر مدیریت ترافیک ۰/۶۲ =β، بهینه‌سازی مصرف انرژی ۰/۵۸ =β مدیریت منابع آب ۰/۵۳ =β و طراحی فضاهای سبز ۰/۶۷ =βدارد. این نتایج، نشان‌دهنده قابلیت بالای هوش مصنوعی در بهبود عملکرد زیرساخت‌های شهری و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی است.

نتیجه گیری: نتیجه این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند نقش کلیدی در ارتقای پایداری شهری تبریز داشته باشد و با کاهش مصرف منابع و بهبود کیفیت خدمات شهری، به ایجاد شهرهای هوشمند و پایدار کمک کند.

کلیدواژه ها: مدیریت شهری، هوش مصنوعی، پایداری شهری، شهر تبریز

۱. پژوهشگر پسادکترای طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی تهران، ایران.

al.zeynaly@gmail.com

مقدمه و بیان مسئله

در عصر حاضر، با گسترش روزافزون جمعیت و شهری شدن سریع جوامع، طراحی و مدیریت فضاهای شهری به یکی از مهم‌ترین چالش‌های عصر ما تبدیل شده است (زینالی عظیم و بابازاده اسکوئی، ۱۴۰۲). شهرها به‌عنوان مراکز تجمع اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، نیاز به راه‌حل‌های نوآورانه برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان و مقابله با چالش‌های مختلف مانند ترافیک، آلودگی و کمبود فضاهای سبز دارند. در این میان، هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، در زمینه طراحی فضاهای شهری وارد شده و به‌طور چشمگیری می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای طراحی و مدیریت شهری کمک کند (نستاسا و همکاران[1]، ۲۰۲۴). هوش مصنوعی با توانایی پردازش و تحلیل داده‌های کلان، این امکان را فراهم می‌آورد که طراحان و برنامه‌ریزان شهری بتوانند الگوهای رفتاری، نیازهای جامعه و وضعیت زیست‌محیطی را به‌طور دقیق‌تری شناسایی کنند. برای مثال، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌های ترافیکی می‌تواند به پیش‌بینی رفتارهای ترافیکی و طراحی بهینه شبکه‌های حمل و نقل منجر شود. این موضوع به‌ویژه در کلان‌شهرهایی که با ترافیک سنگین و آلودگی هوا مواجه‌اند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (توگویی[2]، ۲۰۲۳). علاوه بر این، هوش مصنوعی قادر است به شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی اثرات تغییرات در ساختار شهری بپردازد. این ویژگی به طراحان این امکان را می‌دهد تا با دقت بیشتری تصمیم‌گیری کنند و به نیازهای شهروندان پاسخ دهند. به‌عنوان نمونه، پیش‌بینی نیازهای آینده در زمینه تأمین آب، انرژی و خدمات عمومی می‌تواند به مدیریت بهینه منابع و کاهش هزینه‌ها منجر شود (سون و همکاران[3]، ۲۰۲۳). مضاف بر این، هوش مصنوعی می‌تواند به افزایش مشارکت شهروندان در فرآیندهای طراحی شهری کمک کند. ابزارهای هوش مصنوعی قادر به جمع‌آوری و تحلیل نظرات و بازخوردهای شهروندان در زمان واقعی هستند و این موضوع به طراحان کمک می‌کند تا نیازها و خواسته‌های جامعه را بهتر درک کنند (ون وینسبرک[4]، ۲۰۲۳). به این ترتیب، شهروندان نه تنها به‌عنوان مصرف‌کنندگان خدمات، بلکه به‌عنوان مشارکت‌کنندگان فعال در فرآیند طراحی شهری شناخته می‌شوند (کوگورولو و همکاران[5]، ۲۰۲۴). به این ترتیب، هوش مصنوعی نه تنها می‌تواند به بهبود کارایی طراحی فضاهای شهری کمک کند، بلکه می‌تواند حس تعلق و مشارکت شهروندان را نیز

1. Năstasă et al
2.Tugui
3. Son et al
4. van Wynsberghe
5.Cugurullo

تقویت کند (بیبری و همکاران[1]، ۲۰۲۴). استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند به طراحی فضاهای عمومی هوشمند منجر شود، به‌گونه‌ای که این فضاها نه تنها نیازهای روزمره شهروندان را برآورده کنند، بلکه به ایجاد حس تعلق و هویت جمعی در شهر کمک نمایند (گراوند، ۱۴۰۰). شهر تبریز در سال‌های اخیر با معضلاتی همچون ترافیک سنگین و عدم دسترسی به خدمات شهری مناسب مواجه شده است. براساس گزارش‌ها، میانگین زمان سفر روزانه در تبریز به ۲ ساعت و ۱۵ دقیقه رسیده است، که نشان‌دهنده نیاز به بهبود در سیستم حمل و نقل و مدیریت ترافیک است (زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، با توجه به وجود ناپایداری در مصرف منابع، به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت بهینه منابع آب و انرژی می‌تواند به کاهش هدررفت و بهبود بهره‌وری کمک کند. در تبریز، این فناوری می‌تواند به شناسایی الگوهای ترافیکی، بهبود مدیریت منابع آب و برق و طراحی فضاهای عمومی با محوریت نیازهای شهروندان کمک کند. شهر تبریز، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین شهرهای ایران، نیز از این قاعده مستثنی نیست و با مسائل متنوعی مانند ترافیک سنگین، آلودگی هوا، ناکارآمدی زیرساخت‌ها و عدم تطابق فضاهای عمومی با نیازهای شهروندان دست و پنجه نرم می‌کند. براساس آمارهای منتشر شده، جمعیت تبریز در سال‌های اخیر به سرعت در حال افزایش است و انتظار می‌رود که این روند در آینده نزدیک ادامه یابد. از این رو، با توجه به چالش‌ها و نیازهای موجود در تبریز، استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی به‌عنوان یک راهکار نوین و کارآمد در طراحی و بهینه‌سازی پایداری شهری، می‌تواند نقش کلیدی در بهبود کیفیت زندگی ساکنین این شهر ایفا کند.

چارچوب نظری

پایداری شهری به‌عنوان یکی از اهداف اصلی در برنامه‌ریزی شهری، تأکید دارد که شهرها باید به گونه‌ای توسعه یابند که بتوانند نیازهای حال و آینده شهروندان را برآورده کنند و در عین حال با محیط‌زیست سازگار باشند (زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۱). این مفهوم به دنبال ایجاد تعادل بین توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیطی است و شامل بهبود کیفیت زندگی، حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی می‌شود. در این میان، استفاده از فناوری‌های نوین به‌ویژه هوش مصنوعی می‌تواند نقش کلیدی در بهینه‌سازی فرآیندهای شهری و ارتقای پایداری داشته باشد (زینالی عظیم، ۱۴۰۳).

فناوری‌های نوین و گذار به شهرهای پایدار

تحقق پایداری در شهرهای معاصر بدون بهره‌گیری از فناوری‌های نوین تقریباً ناممکن

1 Bibri et al

است (زینالی عظیم، ۱۴۰۳). در دهه‌های اخیر، توسعه فناوری‌های دیجیتال، به‌ویژه هوش مصنوعی، به‌عنوان یکی از محرک‌های اصلی تحول در عرصه مدیریت شهری ظاهر شده است. این فناوری‌ها بستری فراهم کرده‌اند تا تصمیم‌گیری‌های شهری نه صرفاً براساس شهود و تجربه، بلکه با تکیه بر داده‌های عظیم، مدل‌سازی‌های دقیق و پیش‌بینی‌های هوشمندانه صورت گیرد. از این منظر، فناوری به‌مثابه یک زیرساخت دانشی عمل می‌کند که می‌تواند فرآیندهای شهری را به سمت بهره‌وری، شفافیت و کارآمدی بیشتر سوق دهد (چاتی و خان[1]، ۲۰۲۴).

نقش هوش مصنوعی در ارتقای پایداری شهری

هوش مصنوعی[2] با توانایی در پردازش داده‌های پیچیده، شناسایی الگوهای پنهان، یادگیری تطبیقی و ارائه راهکارهای مبتنی بر تحلیل پیشرفته، یکی از توانمندترین ابزارهای مدیریت هوشمندانه شهرها در مسیر پایداری محسوب می‌شود. این فناوری می‌تواند به‌عنوان نیروی پیشران در بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل، مدیریت منابع انرژی و آب، نظارت بر آلودگی‌های زیست‌محیطی و پیش‌بینی رفتارهای جمعیتی ایفای نقش کند (گلیزر و کاتلر[3]، ۲۰۲۱). به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین و سامانه‌های خبره، امکان تصمیم‌سازی مبتنی بر داده را برای مدیران شهری فراهم می‌آورد و از این طریق، پایداری به‌عنوان یک فرآیند پویا و چندسطحی، محقق می‌شود (وینوسا و همکاران[4]، ۲۰۲۱). در بستر شهر هوشمند، هوش مصنوعی نه‌تنها به‌عنوان یک ابزار فناوری، بلکه به‌عنوان چارچوبی نوین برای تفکر درباره آینده شهرها مطرح است؛ چارچوبی که بر داده‌محوری، تعامل‌پذیری سامانه‌ها و پاسخ‌گویی سریع به نیازهای متغیر شهری استوار است. در این نگاه، هوش مصنوعی می‌تواند ظرفیت‌های تاب‌آوری شهری را افزایش داده و زیرساخت‌های لازم برای توسعه‌ای پایدار، انعطاف‌پذیر و پاسخ‌گو را مهیا سازد (باتی[5]، ۲۰۲۳)

مدیریت ترافیک هوشمند

ترافیک شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های کلان‌شهرها، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر کیفیت زندگی شهروندان، بهره‌وری اقتصادی، سلامت عمومی و زیست‌پذیری شهری دارد. ازدیاد خودروها، ناکارآمدی زیرساخت‌های سنتی و رشد فزاینده

1. Chatti, & Khan
2. Artificial Intelligence
3.Glaeser & Cutler
4. Vinuesa et al
5. Batty

جمعیت شهری، منجر به بروز تراکم‌های ترافیکی، افزایش زمان سفر و تشدید آلاینده‌های زیست‌محیطی شده‌اند. در این میان، بهره‌گیری از سیستم‌های مدیریت ترافیک هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی، به‌عنوان یک رویکرد فناورانه نوین، امکان بهینه‌سازی جریان ترافیک از طریق تحلیل بلادرنگ داده‌ها را فراهم کرده است (راویش و سوامی، ۲۰۲۱).

این سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی و بینایی ماشین، داده‌های حاصل از دوربین‌های نظارتی، حسگرها، GPS وسایل نقلیه و اپلیکیشن‌های شهری را پردازش کرده و الگوهای ترافیکی را پیش‌بینی می‌کنند. براساس این تحلیل‌ها، تصمیماتی مانند زمان‌بندی هوشمند چراغ‌های راهنمایی، هدایت پویا به مسیرهای کم‌ترافیک و تنظیم جریان خودروها در نقاط پرتراکم اتخاذ می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که شهرهایی مانند سنگاپور و لندن با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، موفق به کاهش میانگین زمان سفر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی شده‌اند (باتی[1]، ۲۰۱۸). از منظر نظری، این نوع مدیریت ترافیک، نمونه‌ای از سامانه‌های سایبر-فیزیکی شهری محسوب می‌شود که در آن تعامل بین جهان فیزیکی (ترافیک) و سیستم‌های دیجیتال (هوش مصنوعی) به بهینه‌سازی عملکرد شهری می‌انجامد. در این چارچوب، هوش مصنوعی نه‌تنها ابزار تحلیل داده، بلکه جزئی از نظام حکمرانی هوشمند شهری تلقی می‌شود(گلیزر و کاتلر[2]، ۲۰۲۱).

بهینه‌سازی مصرف انرژی

مصرف بی‌رویه و غیربهینه انرژی، به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی و تجاری، سهم بسزایی در افزایش بار زیست‌محیطی شهرها و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. طبق برآوردهای آژانس بین‌المللی انرژی، بخش ساختمان‌ها بیش از ۴۰٪ از کل انرژی مصرفی در جهان را به خود اختصاص داده‌اند. در این زمینه، کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت انرژی شهری به‌عنوان یک راهکار نوین و مؤثر، می‌تواند نقش مهمی در بهبود بهره‌وری انرژی و تحقق پایداری ایفا کند (زینالی و همکاران، ۱۴۰۳).

الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادرند با تحلیل داده‌های بلادرنگ از سنسورها، سیستم‌های خانه هوشمند و شرایط محیطی، الگوهای مصرف انرژی را شناسایی کرده و به‌صورت پویا سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی را تنظیم کنند (بیرونی[3]، ۲۰۲۳). استفاده از روش‌هایی مانند یادگیری تقویتی و مدل‌سازی پیش‌بینانه، موجب می‌شود تا نیازهای واقعی ساکنان بدون هدررفت منابع انرژی تأمین گردد.مطالعات موردی در کشورهای اسکاندیناوی

1. Batty
2.Glaeser & Cutler
3. Brevini

نشان داده‌اند که سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی توانسته‌اند تا حدود ۳۰% کاهش در مصرف انرژی و کاهش معنادار در هزینه‌های جاری ساختمان‌ها ایجاد کنند (پوت و همکاران[1]، ۲۰۲۰). این سیستم‌ها به‌ویژه در اقلیم‌های سرد، با تنظیم دقیق دمای داخلی و پیش‌بینی بار سرمایشی و گرمایشی، کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند (زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۳). در بعد مفهومی، این فناوری‌ها به‌عنوان جزء کلیدی در زیرساخت‌های انرژی پایدار شهری شناخته می‌شوند و در چارچوب سیاست‌های هوشمندسازی شهرها، به کاهش ردپای کربن، افزایش تاب‌آوری انرژی و ارتقای کیفیت زندگی ساکنان منجر می‌گردند.

مدیریت منابع آب: منابع آب و نقش آن‌ها در پایداری شهری

آب به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین عناصر حیات، نقشی کلیدی در تحقق پایداری شهری ایفا می‌کند. در بستر توسعه پایدار، منابع آب نه‌تنها به‌عنوان منبعی برای تأمین نیازهای شرب، کشاورزی، صنعتی و زیست‌محیطی شناخته می‌شوند، بلکه عامل تعیین‌کننده‌ای در برنامه‌ریزی فضایی، عدالت اجتماعی و تاب‌آوری شهرها در برابر بحران‌های اقلیمی به شمار می‌آیند (زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۳). با توجه به رشد فزاینده جمعیت شهری و تشدید تغییرات اقلیمی، فشار بر منابع آبی افزایش یافته و نیاز به سیاست‌گذاری‌های نوین و مدیریت هوشمندانه آب بیش از پیش احساس می‌شود (سازمان ملل متحد آب[2]، ۲۰۲۰). از منظر اکولوژیکی، منابع آب شامل آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها)، آب‌های زیرزمینی، آب باران و آب‌های بازیافتی هستند که هر یک، در صورت مدیریت صحیح، می‌توانند به‌عنوان یک مؤلفه پایدار در نظام شهری ایفای نقش کنند (صدیق[3]، ۲۰۲۲). شهرهای پایدار، به‌جای تکیه صرف بر استخراج آب از منابع طبیعی، رویکردهایی چون بازیافت آب خاکستری، ذخیره‌سازی آب باران و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده را در دستور کار قرار می‌دهند. این رویکرد نه تنها مصرف آب را کاهش می‌دهد، بلکه باعث کاهش آلودگی، افزایش تاب‌آوری شهری و ارتقای سلامت عمومی نیز می‌شود (لیل و همکاران[4]، ۲۰۲۴). از دیدگاه عدالت اجتماعی، دسترسی برابر به منابع آب سالم و بهداشتی، یکی از ارکان کلیدی پایداری است. در بسیاری از شهرهای جهان، به‌ویژه در مناطق کم‌برخوردار، نابرابری در توزیع آب شرب باعث بروز بحران‌های اجتماعی و بهداشتی می‌شود. مدیریت پایدار منابع آب باید تضمین کند که تمام اقشار جامعه، صرف‌نظر از موقعیت اقتصادی یا

1. Pout et al
2. UN-Water
3. Siddique
4. Leal et al

جغرافیایی، به آب پاک دسترسی داشته باشند (الرعی[1]، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، منابع آب در بُعد کالبدی و برنامه‌ریزی شهری نیز اهمیت دارند. طراحی فضاهای سبز شهری با محوریت جریان‌های آب طبیعی، ایجاد زیرساخت‌های جذب آب باران و سیستم‌های زهکشی پایدار ازجمله راهکارهایی هستند که همزمان به حفظ منابع آب، ارتقای کیفیت محیط زیست شهری و مقابله با سیلاب‌ها کمک می‌کنند. درنهایت، ارتباط میان آب و انرژی نیز یکی دیگر از ابعاد کلیدی پایداری است. تولید، تصفیه و توزیع آب نیازمند مصرف انرژی است، در حالی‌که بسیاری از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند نیروگاه‌های برق‌آبی، خود به منابع آب وابسته‌اند. این پیوستگی تحت عنوان «پیوند آب–انرژی–غذا شناخته می‌شود و در رویکردهای نوین پایداری شهری مورد توجه قرار دارد (بلو و همکاران[2]، ۲۰۲۴). در مجموع، پایداری شهری بدون درک عمیق از نقش منابع آب و اتخاذ رویکردهای یکپارچه در مدیریت آن‌ها ممکن نیست. برنامه‌ریزی و طراحی شهری باید با در نظر گرفتن چرخه‌های طبیعی آب، ظرفیت‌های بومی و نیازهای انسانی، به سمت استفاده هوشمندانه، عادلانه و تاب‌آور از این منابع حرکت کند (چشتی و همکاران[3]، ۲۰۲۴).

طراحی فضاهای سبز هوشمند

فضاهای سبز شهری، ازجمله پارک‌ها، باغ‌های عمومی، بام‌های سبز و دیوارهای گیاهی، نقش بنیادینی در ارتقاء کیفیت زندگی شهروندان ایفا می‌کنند. این فضاها نه‌تنها به کاهش دمای محیطی ناشی از پدیده جزیره گرمایی شهری کمک می‌کنند، بلکه با جذب آلاینده‌ها، تولید اکسیژن و کاهش آلودگی صوتی، اثرات مثبتی بر سلامت جسمی و روانی شهروندان دارند (یاپائولو[4]، ۲۰۲۲). با افزایش چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و رشد سریع جمعیت شهری، ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به‌ویژه هوش مصنوعی، در طراحی و مدیریت فضاهای سبز دوچندان شده است. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های چندمنبعی همچون تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های اقلیمی، کیفیت هوا، تراکم جمعیت و الگوهای رفتاری شهروندان، راهکارهایی بهینه برای مکان‌یابی، گونه‌چینی گیاهی و طراحی کارکردی فضاهای سبز ارائه دهد. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای گرمایی در نقاط مختلف شهر را شناسایی کرده و مناطقی که بیشترین نیاز به خنک‌سازی طبیعی دارند را مشخص کنند (وو و همکاران[5]، ۲۰۲۴). همچنین، با تحلیل داده‌های سلامت عمومی،

1. Al-Raeei
2. Bello et al4
3. Chishti et al
4. Iapaolo
5. Wu et al

می‌توان اولویت‌بندی‌های مکانی برای ایجاد فضاهای سبز درمان‌محور یا آرامش‌بخش را استخراج کرد. در بُعد مدیریتی، سیستم‌های هوشمند قادرند وضعیت آبیاری، نیازهای تغذیه‌ای خاک، سلامت گیاهان و میزان استفاده از فضا را به‌صورت بلادرنگ پایش کرده و تصمیمات خودکار اتخاذ نمایند. این فرایند منجر به کاهش مصرف منابع (مانند آب و کود)، افزایش کارایی نگهداری و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود (کامپلکستی[1]، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، استفاده از سنسورهای محیطی و پلتفرم‌های اینترنت اشیاء می‌تواند مدیریت فضاهای سبز را به‌صورت تطبیقی و پاسخگو به شرایط محیطی تبدیل کند. تجربه‌های موفقی در این زمینه در شهرهای پیشرو مانند سنگاپور به ثبت رسیده است. در پروژه‌های شهری این کشور، از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رشد گیاهان، تعیین بهترین ترکیب پوشش گیاهی برای جذب آلاینده‌ها و بهینه‌سازی مسیرهای عبور و استراحت شهروندان استفاده شده است. نتایج این اقدامات نشان می‌دهد که ترکیب طراحی زیست‌پایه با فناوری‌های هوشمند، نه‌تنها به کاهش دمای مناطق شهری منجر شده، بلکه موجب ارتقای شاخص‌های رفاه اجتماعی، افزایش رضایتمندی شهروندان و ارتقاء تنوع زیستی در بسترهای مصنوعی شهری شده است (باتی[2]، ۲۰۲۳). در مجموع، طراحی فضاهای سبز هوشمند، رویکردی میان‌رشته‌ای و آینده‌نگر است که با تکیه بر قابلیت‌های تحلیل‌گرایانه هوش مصنوعی، می‌تواند گامی اساسی در جهت تحقق شهرهای پایدار، تاب‌آور و زیست‌پذیر باشد.

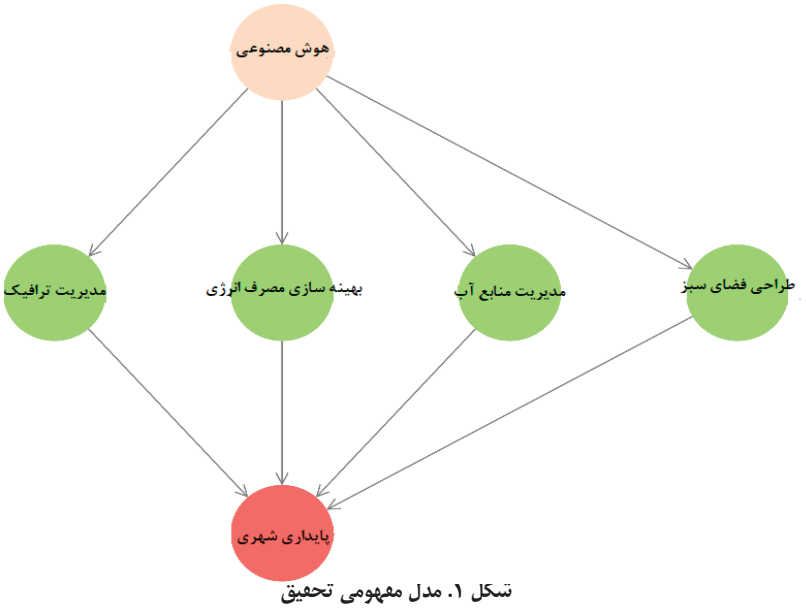
پایداری شهری و هوش مصنوعی

پایداری شهری به معنای استفاده بهینه از منابع، کاهش آلودگی و بهبود کیفیت زندگی است و هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری نوین می‌تواند در دستیابی به این اهداف کمک‌کننده باشد. این فناوری در حوزه‌هایی مانند مصرف انرژی، مدیریت منابع آب، حمل‌ونقل و طراحی فضاهای عمومی کاربردهای گسترده‌ای دارد (توگی[3]، ۲۰۲۳). مطالعات نشان داده است که استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت شهری می‌تواند به کاهش هزینه‌های انرژی، بهبود کیفیت هوا و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان منجر شود (شارمان[4]، ۲۰۲۴). هوش مصنوعی با توانایی پردازش داده‌های بزرگ، بهینه‌سازی منابع و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه، می‌تواند به ایجاد شهرهای هوشمند و پایدار کمک کند. درنهایت، استفاده از هوش مصنوعی در شهرهای بزرگ به بهبود کیفیت زندگی، کاهش هزینه‌ها و ایجاد زیرساخت‌های پایدارتر منجر می‌شود.

1. Complexity
2. Batty
3. Tugui
4. Sharman

جدول ۱. نظرات اندیشمندان در رابطه با هوش مصنوعی و پایداری شهری

اندیشمند	مفهوم	توضیحات
گلیزر و کاتلر[1] (۲۰۲۱)	شهرهای پایدار و هوش مصنوعی	تأثیر هوش مصنوعی در کاهش آلودگی و بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی
راویش و سومامی[2] (۲۰۲۰)	آینده برنامه‌ریزی شهری با هوش مصنوعی	کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی نیازهای آینده و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی
تامپسون و همکاران[3] (۲۰۱۹)	یادگیری ماشینی در برنامه‌ریزی شهری	استفاده از یادگیری ماشینی برای تحلیل الگوهای رفتاری شهروندان و بهینه‌سازی فضاهای شهری
علمکویست و همکاران[4] (۲۰۱۹)	طراحی پایدار	نقش فناوری‌های نوین در بهبود کیفیت محیط‌زیست و افزایش فضاهای سبز در شهرها
باتی[5] (۲۰۱۸)	هوش مصنوعی و شهرهای هوشمند	استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت ترافیک و بهینه‌سازی فضاهای شهری



شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق

پیشینه

عنابستانی و همکاران (۱۴۰۳)، در تبیین اثرگذاری هوش مصنوعی بر بهبود کیفیت

1. Glaeser & Cutler
2. Ravish & Swamy
3. Thompson et al
4. Elmqvist et al
5. Batty

زندگی شهروندان با رویکرد آینده‌پژوهی در کلان‌شهر مشهد، به این نتیجه رسیدند که هوش مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در توسعهٔ حکمروایی خوب شهری ایفا کند. این امر با تأثیر در تصمیم‌گیری هوشمند در یک شهر بزرگ و یا با پایش و کنترل ازجمله ترافیک، مدیریت پسماندها، کنترل آلودگی هوا و آب و پایش امنیت شهری، این فعالیت‌ها را به‌صورت خودکار و دقیق‌تر انجام می‌دهد. درضمن، در زمینهٔ ارتباطات شهروندان که می‌توانند به‌راحتی با سازمان‌های شهری ارتباط برقرار کرده، شکایت‌ها و پیشنهادهای خود را اعلام کنند و خدمات شهری را بهبود بخشند نیز نقش‌آفرین است. حسینی و همکاران (۱۴۰۳)، در تبیین نقش هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری و توسعه شهرها، بررسی داده‌های استخراج شده حاکی از آن بود که در طی بازه سال های مورد بررسی با فیلترهای لازم تعداد ۲۳۳۷ مقاله در پایگاه ساینس دایرکت نمایه شده است. براساس تصویرسازی شبکه هم رخدادی واژگان شش خوشه موضوعی تأثیر مستقیم بر نقش هوش مصنوعی در شهرسازی داشته است. همچنین طی سال های اخیر مفاهیم مرتبط با رویکرد پژوهش از مفاهیم متمرکز بر بررسی اولیه موضوع هوش مصنوعی و نحوه عملکرد آن، به روش های نوین جهت حل مشکلات شهری تغییر جهت یافته اند. صابری فر (۱۴۰۲)، در پژوهش خود نتیجه میگیرد که با توجه به قابلیت روش هوش مصنوعی و ضرورت ارزیابی سرزندگی فضاهای شهری در قلمروهای وسیع‌تر، بهتر است با هماهنگی نهادهای امنیتی و انتظامی، شرایطی فراهم گردد که کاربرد این روش تسهیل گردیده و قلمروهای گسترده‌تری از شهرهای ایران مورد مطالعه قرارگیرد. انوشیهیی و رضایی (۱۴۰۲)، در ارزیابی نقش ابزارهای هوش مصنوعی در توسعه مدیریت شهری، به این نتیجه رسیدند که ارزش آفرینی بر ارتقای جهت گیری استراتژیک مؤثر بوده و ساختار درونی بر ارزش‌آفرینی تأثیر معناداری داشته است. هی و چن[1]، (۲۰۲۴)، به بررسی سیستماتیک نقش هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری پرداخته و تأکید می‌کنند که استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود پیش‌بینی‌های شهری و تصمیم‌گیری‌های پیچیده کمک کند. به‌ویژه در طراحی شهرهای هوشمند و مدیریت منابع زیست‌محیطی، هوش مصنوعی بسیار مؤثر است. ژانگ و همکاران[2](۲۰۲۴)، در مقاله خود استدلال می‌کنند که رویکردهای جدید به محققان اجازه می‌دهد تا نظریه‌ها و مضامین کلاسیک شهری را بازبینی کنند و به‌طور بالقوه به شهرها کمک کنند تا محیط‌هایی را ایجاد کنند که با رفتارها و آرزوهای انسان در عصر مبتنی بر هوش مصنوعی و داده‌محور امروزی هماهنگ باشد. کوگورولو و همکاران[3] (۲۰۲۴)، استدلال می کنند که شهرسازی

1. He & Chen
2. Zhang et al
3. Cugurullo et al

متأثر از هوش مصنوعی، که آن را شهرسازی هوش مصنوعی می‌نامند، در تئوری و عمل با شهرسازی هوشمند متفاوت است. در آینده، ظهور شهرسازی پس از هوشمندی که توسط هوش مصنوعی هدایت می‌شود، پتانسیل ایجاد شهرهای خودمختار را دارد که از نظر تئوری و تجربی از شهرهای هوشمند سنتی فراتر می‌روند. این مقاله شیوه‌ها و درک رایج شهرسازی هوشمند را با اشکال نوظهور زندگی شهری، حکمرانی شهری و برنامه‌ریزی شهری تحت تأثیر هوش مصنوعی مقایسه می‌کند. فلیپس و همکاران[1] (۲۰۲۴)، در پژوهشی نتیجه می گیرند که برخی پروژه‌ها و عناصر طراحی ممکن است برای مولدهای هنر هوش مصنوعی برای نمایش بصری چالش‌برانگیزتر باشند. تجزیه و تحلیل عناصر طراحی منفرد دقت بالایی را در ویژگی‌های مشترک مانند آسمان‌خراش‌ها و چمن‌زارها نشان داد، اما فرکانس کمتری را در به تصویر کشیدن عناصر منحصربه‌فرد مانند مجسمه‌ها و ایستگاه‌های حمل و نقل نشان داد. طرح‌های شهری ایجاد شده توسط هوش مصنوعی در مراحل اولیه اکتشاف، زمانی که ایده‌پردازی سریع و طوفان فکری بصری کلیدی هستند، کاربردهای بالقوه‌ای دارند. لوسویا و همکاران[2] (۲۰۲۳) استدلال میکنند پدیده‌های موازی شهرنشینی و دیجیتالی شدن، گسترش سریع هوش مصنوعی شهری را به فضاها، مکانها و زندگی های روزمره ممکن کرده است. بنابراین، آنها ممکن است در همه جا یافت شوند.

در رابطه با موضوع مورد مطالعه در ایران، مطالعات خیلی کمی انجام گرفته شده است و آن دسته از مطالعاتی هم که صورت پذیرفته بر پایداری شهری از طریق هوش مصنوعی نپرداختهاند. با توجه به مطالعات پیشین، تمایز این تحقیق به‌صورت کلی در بررسی و تحلیل جامع تأثیر هوش مصنوعی بر پایداری شهری با تمرکز ویژه بر شهر تبریز نهفته است. این تحقیق، نخستین مطالعه‌ای است که به‌طور یکپارچه و در چهار حوزه کلیدی پایداری شهری از نظر مدیریتی (مدیریت ترافیک، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت منابع آب و طراحی فضاهای سبز) به ارزیابی تأثیر هوش مصنوعی پرداخته است. این رویکرد چندبعدی نوآورانه، ارتباط بین این عوامل و تأثیرات آن‌ها بر پایداری شهری را در یک مدل جامع تحلیل می‌کند.

روش‌شناسی

این پژوهش از نوع کاربردی و روش تحقیق به‌صورت توصیفی-پیمایشی است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر طراحی فضاهای شهری پایدار در شهر تبریز است. روش گردآوری داده‌ها، از طریق پرسشنامه‌ای طراحی شده که شامل مجموعه‌ای از سؤالات مرتبط با متغیرهای اصلی تحقیق بوده که با استفاده از طیف لیکرت پنج گزینه‌ای

1. Luusua et al
2. Phillips et al

(۱=کاملاً مخالفم تا ۵=کاملاً موافقم) تهیه شده است. در این تحقیق، هوش مصنوعی به‌عنوان متغیر مستقل و پایداری شهری به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. سایر متغیرهای میانجی شامل مدیریت ترافیک، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت منابع آب و طراحی فضاهای سبز هستند. جدول زیر، متغیرهای اصلی و شاخص‌های هر یک را نشان می‌دهد:

جدول ۲. متغیرها و شاخص‌های تحقیق

متغیرها	نوع متغیر	شاخص ها
هوش مصنوعی	مستقل	الگوریتم‌های یادگیری ماشینی، تحلیل داده‌های بزرگ، شبیه‌سازی
مدیریت ترافیک	میانجی	بهینه‌سازی جریان ترافیک، پیش‌بینی رفتار ترافیکی، کاهش زمان سفر
بهینه‌سازی مصرف انرژی	میانجی	بهبود کارایی انرژی، کاهش مصرف منابع، سیستم‌های هوشمند انرژی
مدیریت منابع آب	میانجی	استفاده بهینه از منابع آبی، کاهش هدررفت آب، سیستم‌های هوشمند آب
طراحی فضاهای سبز	میانجی	توسعه فضاهای سبز، انتخاب گونه‌های مناسب، بهبود کیفیت هوای شهری
پایداری شهری	وابسته	کاهش آلودگی، بهبود کیفیت زندگی، افزایش بهره‌وری انرژی و منابع

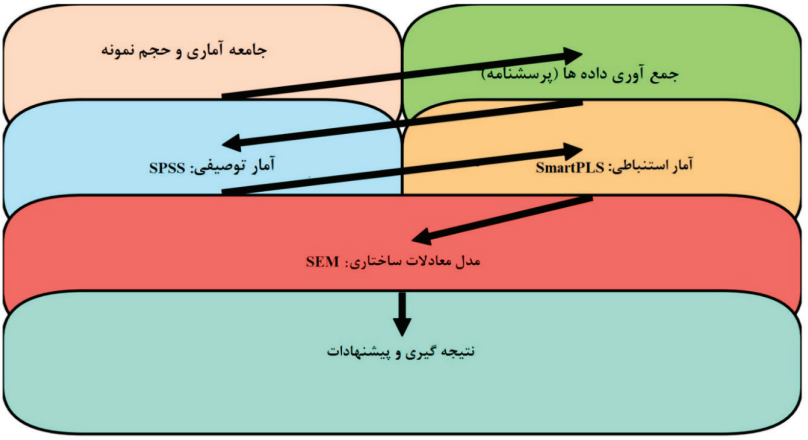
جامعه آماری این تحقیق شامل کارشناسان شهری، متخصصان برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی، مهندسان حوزه حمل‌ونقل و محیط‌زیست است. برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران با جامعه آماری نامحدود استفاده شده است. با توجه به جمعیت تقریبی جامعه آماری و در نظر گرفتن خطای ۵%، حجم نمونه ۳۸۴ نفر محاسبه شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری‌شده، از نرم‌افزارهای آماری SPSS و SmartPLS استفاده می‌شود. تحلیل داده‌ها در دو بخش انجام می‌شود:

تحلیل توصیفی: شامل آمار توصیفی برای توصیف متغیرهای جمعیت‌شناختی و شاخص‌های اصلی تحقیق.

تحلیل استنباطی: شامل مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) برای بررسی روابط میان متغیرهای تحقیق و ارزیابی فرضیه‌های پژوهش.

مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM)با استفاده از نرم‌افزار SmartPLS انجام می‌شود که

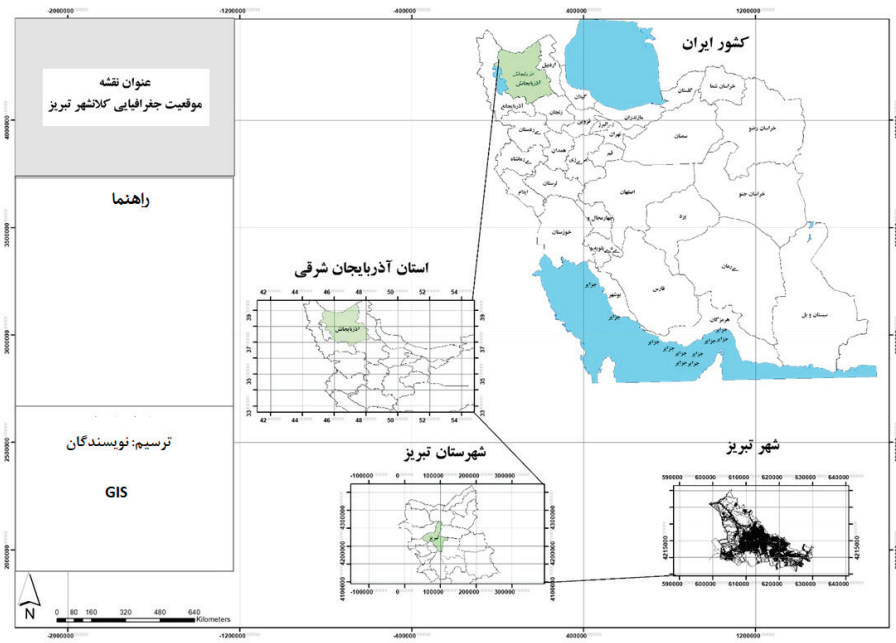
امکان تحلیل روابط پیچیده میان متغیرها و شاخص‌ها را فراهم می‌کند. این روش از تکنیک حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده می‌کند که مناسب برای مدل‌های با داده‌های کوچک و پیچیده است. این تحلیل شامل ارزیابی ضرایب مسیر، اعتبارسنجی مدل و بررسی نیکویی برازش مدل است. مدل مفهومی و روش تحقیق شامل مراحل گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم‌افزارها و تحلیل نتایج به‌صورت شماتیک زیر ترسیم شده است:



شکل ۲. روش تحقیق

محدودهٔ مورد مطالعه

محدوده موردمطالعه در این پژوهش شهر تبریز است. این شهر مرکز استان آذربایجان شرقی است و به‌عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر شمال غرب ایران شناخته می‌شود و دارای وسعتی حدود ۲۴۴۹۸ هکتار است. این شهر در موقعیت جغرافیایی تقریبی ۲۳ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع متوسط آن حدود ۱۳۴۰ متر از سطح دریا است(زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۳). شهر تبریز در فلات آذربایجان واقع شده و به‌عنوان حلقه‌ای بین فلات ایران، فلات ارمنستان (از سوی شمال) و فلات آناتولی (از سوی غرب) عمل می‌کند. موقعیت جغرافیایی مناسب شهر تبریز به همراه عوامل اقتصادی و انسانی، مرزهای سیاسی و فرهنگی، طرق ارتباطی داخلی و ترانزیتی و موقعیت راهبردی آن در نزدیکی کشورهای هم‌جوار این شهر را به یک موقعیت ممتاز و راهبردی تبدیل کرده است. جمعیت شهر ۱۵۹۳۳۷۳ نفر برآورد شده است (زینالی عظیم و بابازاده اسکوئی، ۱۴۰۱).



شکل ۳. موقعیت محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها

آمار توصیفی جمعیتی

ابتدا به بررسی آمار توصیفی جمعیتی پاسخ‌دهندگان پرداخته می‌شود. این اطلاعات شامل جنسیت، سن، سطح تحصیلات و سابقه کاری شرکت‌کنندگان است. تعداد کل نمونه در این تحقیق ۳۸۴ نفر بوده است. جدول زیر اطلاعات تفکیکی مربوط به این متغیرها را نشان می‌دهد

جدول ۳. آمار توصیفی جمعیتی پاسخدهنگان به سوالات تحقیق

ویژگی جمعیتی	فراوانی	درصد
جنسیت		
مرد	۲۲۰	۵۷/۳
زن	۱۶۴	۴۲/۷
سن		
کمتر از ۳۰ سال	۱۱۲	۲۹/۲
۳۰تا ۴۰ سال	۱۴۶	۳۸/۰

۴۱تا ۵۰ سال	۸۵	۲۲/۱
بالای ۵۰ سال	۴۱	۱۰/۷
سطح تحصیلات		
دیپلم	۴۲	۱۰/۹
کارشناسی	۱۶۲	۴۲/۲
کارشناسی ارشد	۱۳۴	۳۴/۹
دکتری	۴۶	۱۲/۰
سابقه کاری		
کمتر از ۵ سال	۱۰۱	۲۶/۳
۳تا ۱۰ سال	۱۴۸	۳۸/۵
۱۱تا ۲۰ سال	۸۹	۲۳/۲
بالای ۲۰ سال	۴۶	۱۲/۰

توضیحات:

جنسیت: از ۳۸۴ پاسخ‌دهنده، ۵۷,۳ درصد مرد و ۴۲,۷ درصد زن هستند.

سن: اکثر پاسخ‌دهندگان در گروه سنی ۳۰ تا ۴۰ سال قرار دارند (۳۸٪) و کمترین تعداد مربوط به افراد بالای ۵۰ سال (۱۰,۷٪) است.

سطح تحصیلات: بیشترین درصد شرکت‌کنندگان دارای مدرک کارشناسی (۴۲,۲٪) و کمترین تعداد دارای مدرک دیپلم (۱۰,۹٪) هستند.

سابقه کاری: ۳۸/۵ درصد پاسخ‌دهندگان سابقه کاری بین ۵ تا ۱۰ سال دارند، در حالی که ۱۲ درصد سابقه کاری بالای ۲۰ سال دارند.

آمار توصیفی متغیرهای تحقیق

در این بخش، آمار توصیفی مربوط به متغیرهای اصلی تحقیق شامل هوش مصنوعی، مدیریت ترافیک، بهینه‌سازی انرژی، مدیریت منابع آب، طراحی فضاهای سبز و پایداری شهری بررسی می‌شود. این آمار شامل میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه برای هر متغیر است. جدول زیر نتایج آمار توصیفی متغیرهای تحقیق را نشان می‌دهد:

جدول ٤. آمار توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
هوش مصنوعی	۳۸۴	۴/۱۲	۰/۷۳	۲/۵۰	۵/۰۰
مدیریت ترافیک	۳۸۴	۳/۹۸	۰/۸۲	۲/۰۰	۵/۰۰
بهینه‌سازی مصرف انرژی	۳۸۴	۴/۰۵	۰/۷۸	۲/۳۰	۵/۰۰
مدیریت منابع آب	۳۸۴	۴/۱۵	۰/۶۵	۲/۷۰	۵/۰۰
طراحی فضاهای سبز	۳۸۴	۴/۲۲	۰/۶۷	۳/۰۰	۵/۰۰
پایداری شهری	۳۸۴	۴/۱۰	۰/۷۲	۲/۶۰	۵/۰۰

توضیحات:

هوش مصنوعی: میانگین ارزیابی تأثیر هوش مصنوعی بر پایداری شهری برابر با ۴,۱۲ است که نشان‌دهنده ارزیابی مثبت شرکت‌کنندگان است. انحراف معیار ۰,۷۳ نشان‌دهنده پراکندگی نسبتاً کم در نظرات است.

مدیریت ترافیک: این متغیر میانگینی برابر با ۳,۹۸ دارد که نشان‌دهنده ارزیابی نسبتاً مثبت از تأثیر هوش مصنوعی در بهبود مدیریت ترافیک است.

بهینه‌سازی مصرف انرژی: میانگین این متغیر ۴,۰۵ است که بیانگر ارزیابی مثبت در خصوص بهبود کارایی مصرف انرژی با استفاده از هوش مصنوعی است.

مدیریت منابع آب: با میانگین ۴,۱۵ و انحراف معیار ۰,۶۵، پاسخ‌دهندگان اثرات مثبت هوش مصنوعی بر مدیریت منابع آب را تأیید می‌کنند.

طراحی فضاهای سبز: این متغیر بالاترین میانگین (۴,۲۲) را در بین متغیرهای تحقیق دارد که نشان می‌دهد هوش مصنوعی در توسعه فضاهای سبز نقش مهمی ایفا می‌کند.

پایداری شهری: میانگین ۴,۱۰ نشان‌دهنده ارزیابی مثبت در رابطه با تأثیر کلی هوش مصنوعی بر پایداری شهری است.

این آمار توصیفی نشان می‌دهد که شرکت‌کنندگان در تحقیق به‌طور کلی ارزیابی مثبتی از تأثیر هوش مصنوعی بر ابعاد مختلف پایداری شهری در طراحی فضاهای شهری در شهر تبریز دارند.

بررسی نرمال بودن داده‌ها

در این بخش، به منظور بررسی نرمال بودن یا غیرنرمال بودن داده‌های تحقیق، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف(Kolmogorov-Smirnov) استفاده می‌شود. این آزمون به‌طور خاص برای تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها مناسب است. اگر مقدار سطح معنی داری به‌دست‌آمده

در آزمون بزرگ‌تر از ۰,۰۵ باشد، داده‌ها نرمال در نظر گرفته می‌شوند در غیر این صورت، داده‌ها غیرنرمال هستند.

جدول ۵. توزیع نرمال و غیرنرمال بودن داده‌های تحقیق با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

متغیر	آمار کولموگروف-اسمیرنوف	سطح معنی داری
هوش مصنوعی	۰/۸۴۵	۰/۰۶۱
مدیریت ترافیک	۰/۹۱۲	۰/۰۷۵
بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۷۴۸	۰/۰۸۳
مدیریت منابع آب	۰/۸۱۵	۰/۰۶۴
طراحی فضاهای سبز	۰/۹۸۸	۰/۰۵۸
پایداری شهری	۰/۸۲۱	۰۵۳۶

با توجه به جدول ۵ مشخص شد که همه داده‌ها دارای سطح معنی داری بالای ۰/۰۵ بوده بنابراین همه داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند.

بررسی پایایی ترکیبی، روایی هم‌گرایی و بارهای عاملی

برای بررسی دقت و اعتبار مدل، ابتدا باید به ارزیابی پایایی ترکیبی(CR)، روایی هم‌گرایی(AVE) و بارهای عاملی پرداخت. این شاخص‌ها برای تأیید کفایت مدل اندازه‌گیری استفاده می‌شوند.

پایایی ترکیبی

پایایی ترکیبی، نشان‌دهنده میزان سازگاری یا ثبات داخلی شاخص‌های یک سازه است. مقدار CR باید بیشتر از ۰,۷ باشد تا پایایی سازه تأیید شود.

روایی هم‌گرایی

روایی هم‌گرایی، میزان واریانس توضیح‌داده‌شده توسط سازه نسبت به خطای اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. مقدار AVE باید بزرگ‌تر از ۰,۵ باشد تا تأیید شود که سازه‌ها به اندازه کافی واریانس مربوط به شاخص‌های خود را توضیح می‌دهند.

بارهای عاملی

بارهای عاملی باید بزرگ‌تر از ۰,۶ باشند تا شاخص‌ها بتوانند به‌درستی سازه‌های مربوط به خود را توضیح دهند.

جدول ٦. پایایی ترکیبی، روایی هم‌گرایی و بارهای عاملی

متغیر	پایایی ترکیبی(CR)	روایی هم‌گرایی(AVE)	بارهای عاملی
هوش مصنوعی	۰/۸۵	۰/۶۲	۰/۸۳
مدیریت ترافیک	۰/۸۸	۰/۶۰	۰/۸۵
بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۸۶	۰/۵۸	۰/۸۰
مدیریت منابع آب	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۸۸
طراحی فضاهای سبز	۰/۸۷	۰/۶۱	۰/۸۲
پایداری شهری	۰/۸۹	۰/۶۳	۰/۸۴

توضیحات:

پایایی ترکیبی: همه متغیرها پایایی ترکیبی بالاتر از ۰,۷ دارند که نشان‌دهنده پایایی مناسب است.

روایی هم‌گرایی: مقادیر AVE بالاتر از ۰,۵ هستند که نشان می‌دهد شاخص‌های هر سازه به‌خوبی واریانس آن سازه را توضیح می‌دهند.

بارهای عاملی: تمام بارهای عاملی بالاتر از ۰,۶ بوده و بنابراین شاخص‌ها به‌درستی سازه‌های مربوط به خود را توضیح می‌دهند.

واگرایی (روایی افتراقی):

برای ارزیابی روایی افتراقی، از معیار فورنل-لارکر استفاده می‌شود. این معیار بیان می‌کند که میزان AVE هر سازه باید بزرگ‌تر از همبستگی آن سازه با سازه‌های دیگر باشد.

جدول ۷. روایی واگرایی (Fornell-Larcker)

متغیر	هوش مصنوعی	مدیریت ترافیک	بهینه‌سازی مصرف انرژی	مدیریت منابع آب	طراحی فضاهای سبز	پایداری شهری
هوش مصنوعی	۰/۷۹					
مدیریت ترافیک	۰/۵۶	۰/۷۷				
بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۵۲	۰/۶۰	۰/۷۶			
مدیریت منابع آب	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۸۰		
طراحی فضاهای سبز	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۷۸	
پایداری شهری	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۷۹

توضیحات:

مقادیر قطر اصلی جدول که نماینده ریشه دوم AVE برای هر سازه است، باید بزرگ‌تر از همبستگی آن سازه با سایر سازه‌ها باشد. این شرایط برای همه متغیرها رعایت شده و بنابراین روایی واگرایی تأیید می‌شود.

بررسی همبستگی میان متغیرها

همبستگی میان متغیرها می‌تواند به بررسی شدت رابطه بین متغیرها کمک کند. از ضریب همبستگی پیرسون برای تحلیل همبستگی میان متغیرهای تحقیق استفاده شده است.

جدول ۸. همبستگی پیرسون میان متغیرها

متغیر	هوش مصنوعی	مدیریت ترافیک	بهینه‌سازی مصرف انرژی	مدیریت منابع آب	طراحی فضاهای سبز	پایداری شهری
هوش مصنوعی	**۱**	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۹
مدیریت ترافیک	۰/۵۶	**۱**	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۳
بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۵۲	۰/۶۰	۱	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۴
مدیریت منابع آب	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۵۹	۱	۰/۶۱	۰/۶۰
طراحی فضاهای سبز	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۶۱	۱	۰/۶۵
پایداری شهری	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۶۵	۱

توضیحات:

ضرایب همبستگی نشان می‌دهند که همه متغیرها با یکدیگر همبستگی مثبتی دارند.

بالاترین همبستگی بین «طراحی فضاهای سبز» و «پایداری شهری» (۰,۶۵) دیده می‌شود، که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم فضاهای سبز بر پایداری شهری است.

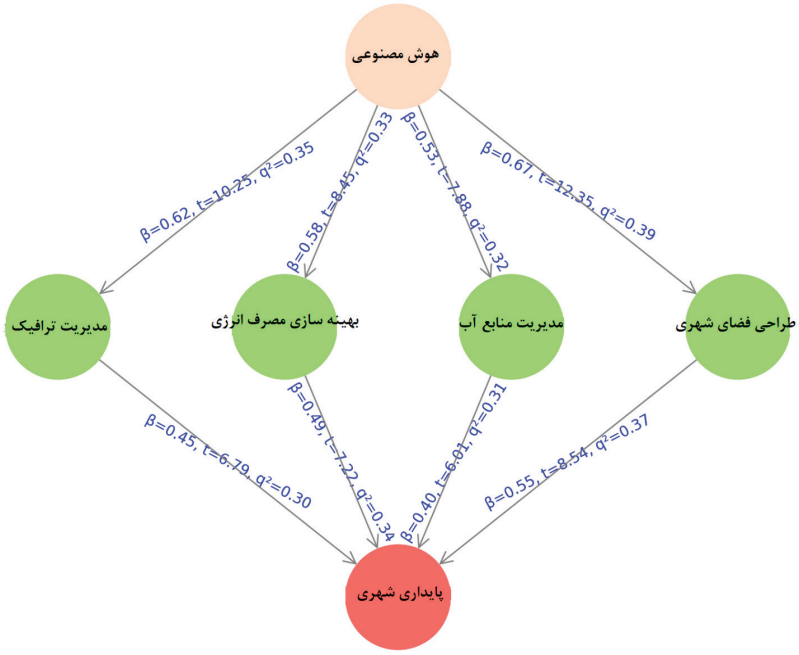
کمترین همبستگی بین «مدیریت منابع آب» و «هوش مصنوعی» (۰,۴۸) وجود دارد.

براساس نتایج پایایی ترکیبی، روایی هم‌گرایی و بررسی همبستگی، مدل تحقیق از دقت و اعتبار لازم برخوردار است. داده‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف تأیید شده و همبستگی بین متغیرها نیز به‌درستی توضیح‌دهنده روابط میان آن‌ها است.

جدول ۹. تأثیر اثرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرهای تحقیق بر روی هم با قدرت پیشبین

مسیر	ضریب مسیر β	انحراف استاندارد	آماره t	سطح معنیداری (Sig)	قدرت پیش بینی q^2
هوش مصنوعی → مدیریت ترافیک	۰/۶۲	۰/۰۵	۱۰/۲۵	۰/۰۰۱	۰/۳۵
هوش مصنوعی → بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۵۸	۰/۰۶	۸/۴۵	۰/۰۰۱	۰/۳۳
هوش مصنوعی → مدیریت منابع آب	۰/۵۳	۰/۰۷	۷/۸۸	۰/۰۰۱	۰/۳۲
هوش مصنوعی → طراحی فضاهای سبز	۰/۶۷	۰/۰۴	۱۲/۳۵	۰/۰۰۱	۰/۳۹
مدیریت ترافیک → پایداری شهری	۰/۴۵	۰/۰۸	۶/۷۹	۰/۰۰۱	۰/۳۰
بهینه‌سازی مصرف انرژی → پایداری شهری	۰/۴۹	۰/۰۸	۷/۲۲	۰/۰۰۱	۰/۳۴
مدیریت منابع آب → پایداری شهری	۰/۴۰	۰/۰۹	۶/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۱
طراحی فضاهای سبز → پایداری شهری	۰/۵۵	۰/۰۷	۸/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۳۷

(نکته: در جدول ۹ خانه های سفید نشان دهنده تأثیرات مستقیم و خانه های سبز رنگ نشان دهنده روابط و اثرات غیر مستقیم)



شکل ٤. مدل نهایی تأثیر هوش مصنوعی بر پایداری شهر تبریز با خروجی از نرام افزار SmartPls

با توجه به نتایج جدول ۹ و شکل ۴ می‌توان تأثیر هوش مصنوعی بر جنبه‌های مختلف پایداری برای شهر تبریز ارائه داد. تبریز به‌عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت ترافیک، مصرف انرژی، منابع آبی و طراحی فضاهای سبز روبه‌رو است. نتایج این تحلیل می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران شهری تبریز در بهبود این جنبه‌ها و ارتقای پایداری شهری کمک کند.

۱. تأثیر هوش مصنوعی بر مدیریت ترافیک در تبریز: β= ۰/۶۲ ، t= ۱۰/۲۵ ، q^2= ۰/۳۵

ضریب β= ۰/۲۶، آماره t با ۱۰/۲۵ نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تأثیر بسیار معناداری بر بهبود مدیریت ترافیک در تبریز دارد. این شهر که با مشکل ترافیک سنگین در بخش‌های مرکزی و خیابان‌های پرتردد روبه‌رو است، می‌تواند از سیستم‌های هوشمند ترافیکی برای بهبود جریان ترافیک و کاهش ازدحام استفاده کند. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های ترافیکی لحظه‌ای، می‌توانند زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی را بهینه کرده و مسیرهای جایگزین را برای خودروها و حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد دهند. در تبریز، با توجه به افزایش روزافزون تعداد خودروها و ترافیک سنگین در بسیاری از مناطق شهری، استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک می‌تواند به بهبود وضعیت حمل‌ونقل عمومی و کاهش تراکم‌های خیابانی کمک کند. کاهش زمان سفر و بهبود جریان ترافیک در تبریز، به کاهش آلودگی هوا و بهبود کیفیت زندگی شهروندان منجر خواهد شد. این فناوری همچنین به کاهش اتلاف وقت و افزایش بهره‌وری اقتصادی شهر کمک می‌کند.

۲. تأثیر هوش مصنوعی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی در تبریز: β= ۰/۵۸ ، t= ۸/۴۵ ، q^2= ۰/۳۳

ضریب مسیر β= ۰/۵۸ و آماره t با ۸/۴۵ نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تأثیر زیادی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد. تبریز به‌دلیل داشتن تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد، نیازمند مصرف انرژی زیادی برای گرمایش و سرمایش است. سیستم‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند با تنظیم خودکار سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها، به کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری کمک کنند. تبریز با مصرف بالای انرژی در بخش‌های مسکونی و صنعتی، بهینه‌سازی مصرف انرژی را به‌عنوان یکی از اولویت‌های خود در مسیر دستیابی به پایداری شهری قرار داده است. هوش مصنوعی با کمک به بهبود سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، می‌تواند به کاهش هدررفت انرژی و کاهش هزینه‌های انرژی در تبریز منجر شود. این امر علاوه بر کمک به اقتصاد شهری، به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود وضعیت محیط‌زیست در این شهر کمک خواهد کرد.

۳. تأثیر هوش مصنوعی بر مدیریت منابع آب در تبریز: β= ۰/۳۵ ، t= ۷/۸۸ ، q^2= ۰/۳۲

ضریب مسیر ۰/۵۳ β=و آماره ۷/۸۸ t نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تأثیر معناداری بر مدیریت منابع آب دارد. تبریز به‌عنوان شهری که در منطقه‌ای سرد کوهستانی واقع شده است. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های مربوط به مصرف آب و بارش‌ها، به بهینه‌سازی مدیریت منابع آبی و جلوگیری از هدررفت آب کمک کند. مدیریت هوشمند منابع آب در تبریز می‌تواند به حفظ منابع آبی و جلوگیری از بحران‌های آبی کمک کند. این فناوری می‌تواند نشت‌های احتمالی در شبکه‌های آبرسانی را شناسایی کرده و توزیع بهینه آب را براساس نیاز مناطق مختلف شهر انجام دهد. همچنین، استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت منابع آبی به کاهش مصرف بی‌رویه آب و افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی و صنعتی منجر خواهد شد.

٤. تأثیر هوش مصنوعی بر طراحی فضاهای سبز در تبریز: ۰/۷٦ β=، ۱۲/۳۵ t=، ۰q²/۳۹ =

بالاترین ضریب۰/۶۷ β= و آماره t با ۱۲/۳۵ نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تأثیر چشمگیری بر طراحی و مدیریت فضاهای سبز دارد. تبریز به‌دلیل آلودگی هوا و توسعه شهری سریع، نیازمند ایجاد و توسعه فضاهای سبز پایدار است. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های زیست‌محیطی، مکان‌های بهینه برای توسعه فضاهای سبز را شناسایی کند و به نگهداری بهینه این فضاها کمک کند. تبریز با چالش‌های مربوط به کاهش فضاهای سبز و آلودگی هوا مواجه است. طراحی هوشمند فضاهای سبز با استفاده از فناوری هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود کیفیت هوا، کاهش دمای شهری و ایجاد فضاهای مناسب برای تفریح و استراحت شهروندان منجر شود. این امر به بهبود سلامت عمومی شهروندان و ارتقای کیفیت زندگی آن‌ها کمک خواهد کرد. همچنین، فضاهای سبز هوشمند می‌توانند در مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی نقش مهمی ایفا کنند.

۵. تأثیر مدیریت ترافیک، انرژی، آب و فضاهای سبز بر پایداری شهری تبریز

مسیرهای غیرمستقیم بین مدیریت ترافیک، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت منابع آب و طراحی فضاهای سبز و پایداری شهری نشان می‌دهد که این مؤلفه‌ها به‌طور همزمان به افزایش سطح پایداری شهری کمک می‌کنند. ضریب‌های این مسیرها (بین ۰,۴۰ تا ۰,۵۵) نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار این عوامل بر پایداری شهری است. برای شهر تبریز، پایداری شهری یک هدف کلیدی است که باید در تمامی برنامه‌های توسعه شهری در نظر گرفته شود. با استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک، انرژی، آب و فضاهای سبز، می‌توان به پایداری بیشتری دست یافت. این امر به بهبود کیفیت زندگی شهروندان، کاهش فشار بر زیرساخت‌های شهری و حفظ منابع طبیعی کمک خواهد کرد. شهر تبریز می‌تواند

با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، به یک الگوی موفق در حوزه شهرهای هوشمند و پایدار تبدیل شود. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که استفاده از هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف مدیریت شهری تبریز می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر بهبود پایداری شهری، کاهش آلودگی‌ها، بهینه‌سازی مصرف منابع و افزایش کیفیت زندگی شهروندان داشته باشد. این فناوری با ارائه راهکارهای هوشمند و تحلیل داده‌های لحظه‌ای، به تبریز کمک می‌کند تا با چالش‌های مربوط به رشد جمعیت، افزایش مصرف انرژی و کمبود منابع آبی بهتر مقابله کند و به یک شهر هوشمند و پایدار تبدیل شود.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر پایداری شهری در حوزه‌های مدیریت ترافیک، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت منابع آب و طراحی فضاهای سبز، نشان داد که این فناوری می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کیفیت زندگی شهری را بهبود بخشد و به توسعه پایدار کمک کند. نتایج تحلیل مسیر (PLS) بیانگر تأثیر معنادار و مثبت هوش مصنوعی در هر یک از این حوزه‌ها بود.

مدیریت ترافیک با ضریب ۰/۶۲ β=، نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند به کاهش تراکم ترافیک و افزایش کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل کمک کند. این تأثیر می‌تواند به کاهش آلودگی هوا و اتلاف زمان کمک کرده و کیفیت زندگی را ارتقا دهد.

بهینه‌سازی مصرف انرژی ۰/۵۸ β=، نشان‌دهنده آن است که هوش مصنوعی در کاهش مصرف و بهبود بهره‌وری انرژی نقش مهمی دارد. استفاده از سیستم‌های هوشمند انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود.

مدیریت منابع آب ۰/۵۳ β=، تأیید کرد که استفاده از هوش مصنوعی در بهینه‌سازی توزیع آب و شناسایی نقاط نشت، تأثیر مثبتی بر مدیریت منابع آبی به‌ویژه در شهرهایی با کمبود منابع آب مانند تبریز خواهد داشت.

طراحی فضاهای سبز با بالاترین ضریب۰/۶۷ β=، نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند به توسعه و نگهداری فضاهای سبز کارآمد کمک کند. فضاهای سبز هوشمند، علاوه بر بهبود کیفیت هوا و کاهش دمای شهری، به ارتقای سلامت عمومی و افزایش رفاه اجتماعی منجر می‌شود.

با توجه به این نتایج، هوش مصنوعی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند می‌تواند در راستای توسعه شهرهای هوشمند و پایدار نقشی کلیدی ایفا کند. بهره‌گیری از این فناوری در شهرهایی مانند تبریز می‌تواند نه تنها به بهبود زیرساخت‌های شهری و کاهش هزینه‌های

انرژی و منابع کمک کند، بلکه به افزایش کیفیت زندگی شهروندان و ارتقای وضعیت زیست‌محیطی نیز منجر شود. در نتیجه هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری چندمنظوره، نقش بسزایی در آینده مدیریت شهری خواهد داشت. با استفاده از آن می‌توان به راه‌حل‌های نوآورانه برای چالش‌های پیچیده شهری دست یافت و مسیر پایداری شهری را هموارتر کرد.

با توجه به نتایج بدست آمده از یافته های تحقیق، پیشنهادات زیر را می‌توان در رابطه با تأثیر هوش مصنوعی در پایداری شهر تبریز را به‌صورت زیر بیان کرد:

سیستم‌های هوشمند ترافیکی در تبریز به‌ویژه در مناطق پرترافیک مانند مرکز شهر و خیابان‌های پرتردد به کار گرفته شوند. سیستم‌های تحلیل داده‌های لحظه‌ای و بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی می‌توانند به کاهش تراکم ترافیک و بهبود جریان حمل‌ونقل کمک کنند. همچنین، بهره‌گیری از سیستم‌های هوش مصنوعی می‌تواند زمان سفر و آلودگی هوا را کاهش دهد.

ایجاد شبکه‌های هوشمند مدیریت انرژی در شهر تبریز. این شبکه‌ها با استفاده از تحلیل داده‌های مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری، می‌توانند به کاهش هدررفت انرژی و افزایش بهره‌وری منجر شوند. استفاده از سیستم‌های هوشمند در مدیریت انرژی می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی کمک کند.

با توجه به چالش‌های موجود در رابطه با منابع آبی در تبریز پیشنهاد می‌شود که سیستم‌های هوشمند نظارتی و مدیریتی برای کاهش هدررفت و بهینه‌سازی مصرف آب به کار گرفته شود. این فناوری می‌تواند با شناسایی نشت‌ها در شبکه‌های آبرسانی و بهینه‌سازی توزیع آب، به مدیریت بهتر منابع آبی در این شهر کمک کند.

شهرداری تبریز از فناوری‌های هوشمند برای شناسایی مکان‌های مناسب برای توسعه فضاهای سبز بهره گیرد. طراحی و نگهداری هوشمند فضاهای سبز می‌تواند به بهبود کیفیت هوا، کاهش دمای شهری و ارتقای سلامت عمومی کمک کند. در این راستا، استفاده از سنسورها و داده‌های محیطی برای پایش و نگهداری فضاهای سبز، ضروری است.

یکی از عوامل کلیدی در موفقیت به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت شهری، آموزش و آگاهی مدیران و سیاست‌گذاران شهری است. پیشنهاد می‌شود که دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های تخصصی برای مدیران و کارشناسان شهری در شهر تبریز در زمینه فناوری‌های هوشمند و کاربردهای آن‌ها برگزار شود تا درک بهتری از این ابزارها در بهبود زیرساخت‌های شهری حاصل شود.

شهر تبریز به‌طور گسترده از داده‌های بزرگ برای تحلیل الگوهای مصرف انرژی، ترافیک، آب و فضاهای سبز استفاده کند. تجمیع داده‌ها و به‌کارگیری ابزارهای تحلیلی هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع و بهینه‌سازی فرآیندهای شهری منجر شود.

پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران شهری تبریز زمینه‌های سرمایه‌گذاری در پروژه‌های هوشمند شهری را فراهم کنند. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند مانند حمل‌ونقل هوشمند، انرژی‌های پایدار و مدیریت منابع آبی می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در پایداری شهر به همراه داشته باشد. حمایت از استارت‌آپ‌ها و نوآوری‌های مرتبط با فناوری‌های هوشمند نیز می‌تواند به رشد زیرساخت‌های هوشمند کمک کند.

همکاری بیشتری میان بخش‌های دولتی و خصوصی در تبریز برای توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند ایجاد شود. مشارکت‌های دولتی-خصوصی می‌تواند به سرعت بخشیدن به پیاده‌سازی پروژه‌های هوشمند و تأمین بودجه مورد نیاز برای این فناوری‌ها کمک کند.

منابع

انوشهیی، علیرضا؛ رضایی، علی اکبر. (۱۴۰۲). ارزیابی نقش ابزارهای هوش مصنوعی در توسعه مدیریت شهری. رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۷(۲۴)، ۱۶۲۳-۱۶۳۲.

حسینی، سیده زهرا؛ رؤفی، روژین؛ زرآبادی پور، زهرا؛ مقدم، سمانه. (۱۴۰۳). تبیین نقش هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی شهری و توسعه شهرها. صفه، ۳۴(۲)، ۷۸-۹۶.

زینالی عظیم، علی. (۱۴۰۳). تحولات جدید در شهرهای هوشمند جهان. نشاء علم، ۱۴(۲)، ۹۳-۹۹.

زینالی عظیم، علی. (۱۴۰۳). تحولات جدید در روابط شهرهای جهان: با فناوری شهرهای هوشمند. دو فصلنامه توسعه علوم انسانی، ۵(۱۰)، ۲۹-۴۹.

زینالی عظیم، علی؛ بابازاده اسکوئی، سولماز. (۱۴۰۱). تحلیلی بر ایجاد شهر هوشمند قابل زندگی در شهر تبریز. اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری، ۳(۴)، ۲۴-۳۷.

زینالی عظیم، علی؛ فدائی حقی، مهری؛ علیزاده، امین؛ جدیری عباسی، محمد؛ فتحی پور، رضا؛ شریفی، محمدعلی. (۱۴۰۳). سنجش عوامل مؤثر در عدم توسعه شهر هوشمند پایدار تبریز. فصلنامه علوم محیطی، ۲۲(۳)، ۴۲۷-۴۴۶.

زینالی عظیم، علی. (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری شهری و محیطی از طریق رشد هوشمند شهری نمونه موردی: شهر جلفا. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۲(۱)، ۱۹-۳۹.

زینالی عظیم، علی؛ جدیری عباسی، محمد؛ هنرجو، میترا؛ فتحی پور، رضا؛ علیزاده، امین؛ قلی پور، نازنین. (۱۴۰۳). عوامل مؤثر بر ایمنی فضاهای عمومی شهر تبریز. پژوهش‌های مدیریت انتظامی، ۱۹(۳)، ۲۴۳-۲۷۴

زینالی عظیم، علی؛ پویافر، حامد؛ امین نیری، بهناز؛ پایدار خیابانی، داود؛ مصطفی‌زاده بازرگان، آیدا. (۱۴۰۳). پیش‌بینی مصرف انرژی برای ساختمان‌های مسکونی براساس رفتار ساکنانش با استفاده از روش شبکهٔ عصبی هوش مصنوعی در شهر تبریز. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۴(۱)، ۱-۲۶.

صابری فر، رستم. (۱۴۰۲). مقایسه کاربرد هوش مصنوعی با روش های سنتی در تعیین سرزندگی فضاهای شهری در ایران (نمونه مورد مطالعه، شهر مشهد). دانش شهرسازی، ۷(۲)، ۳۳-۵۰.

عنابستانی، علی‌اکبر؛ توکلی‌نیا، جمیله؛ نیکنامی، نسیم. (۱۴۰۳). تبیین اثرگذاری هوش مصنوعی بر بهبود کیفیت زندگی شهروندان با رویکرد آینده‌پژوهی (مورد مطالعه: کلان‌شهر مشهد). اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری، ۵(۱)، ۶-۲۱.

گراوند، عذرا. (۱۴۰۰). جایگاه هوش مصنوعی و تأثیر آن در فضاهای شهری، پژوهش‌های کاربردی در فنی و مهندسی، ۲۵، ۵۱-۶۵.

Batty, M. (2018). Artificial intelligence and smart cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(1), 3-6. https://doi.org/10.1177/2399808317751169

Batty, M. (2023). The emergence and evolution of urban AI. *AI & Society*, *38*(3), 1045–1048. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01528-6.

Bello, A. O., Okanlawon, T. T., Wuni, I. Y., Arogundade, S., & Oyewobi, L. O. (2024). Exploring the nexus between the barriers and drivers for sustainable smart cities in developing countries: The case of Nigeria. *Sustainable Development*, 32(4), 4097–4113. https://doi.org/10.1002/sd.2861

Bibri SE, Huang J, Jagatheesaperumal SK, Krogstie J. (2024), The synergistic interplay of artificial intelligence and digital twin in environmentally planning sustainable smart cities: A comprehensive systematic review. Environ Sci Ecotechnol, 17(20):100433. https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100433.

Brevini, B. (2023). Artificial intelligence, artificial solutions: Placing the climate emergency at the center of AI developments. In H. Skaug Sætra (Ed.), Technology and Sustainable Development: The Promise and pitfalls of Techno-Solutionism (pp. 23–34). Routledge.

Cai, W., Wang, C., Chen, J., & Zhang, Y. (2021). The role of artificial intelligence in achieving sustainable urban development. *Environmental Research Letters*, 16(11), 114028. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac30f1.

Chishti, M. Z., Xia, X., & Dogan, E. (2024). *Understanding the effects of artificial intelligence on energy transition: The moderating role of Paris Agreement*. *Energy Economics, 131*, 107388. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107388.

Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P., & Marvin, S. (2024). The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence. *Urban Studies*, *61*(6), 1168-1182. https://doi.org/10.1177/00420980231203386

Chatti, W., & Khan, Z. (2024). Towards smart sustainable cities: Does technological innovation mitigate G7 CO_2 emissions? Fresh evidence from CS-ARDL. *Science of The Total Environment, 913*, 169723. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169723

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., & Kronenberg, J. (2019). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 31, 45-51. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.12.005.

Glaeser, E. L., & Cutler, D. M. (2021). *Survival of the City: Living and Thriving in an Age of Isolation*. Penguin Press.

He, W.; Chen, M. (2024), Advancing Urban Life: A Systematic Review of Emerging Technologies and Artificial Intelligence in Urban Design and Planning. Buildings 2024, 14, 835. https://doi.org/10.3390/ buildings14030835.

Iapaolo, F. (2022). Urban AI: Understanding the Role of Artificial Intelligence in Smart Cities.
AI & Society, 37(4), 1042-1058.
https://doi.org/10.1007/s00146-021-01171-2.

Luusua, A., Ylipulli, J., Foth, M. et al. (2023), Urban AI: understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities. AI & Soc 38, 1039–1044. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01537-5.

McCarroll, C. & Cugurullo, F. (2022). No city on the horizon: Autonomous cars, artificial intelligence, and the absence of urbanism. *Frontiers in Sustainable Cities*, *4*, 184. https://doi.org/10.3389/frsc.2022.937933.

Năstasă A, Dumitra TC, Grigorescu A. (2024), Artificial intelligence and sustainable development during the pandemic: An overview of the scientific debates. Heliyon. 26; 10(9): e30412. https://doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2024.e30412.

Palmini, O., Cugurullo, F. (2024), Design culture for Sustainable urban artificial intelligence: Bruno Latour and the search for a different AI urbanism. Ethics Inf Technol 26, 11 (2024). https://doi.org/10.1007/s10676-024-09752-y.

Phillips, C, Jiao, J & Clubb, E, (2024), Testing the Capability of AI Art Tools for Urban Design" in IEEE Computer Graphics and Applications, 44(02), 37-45, https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MCG.2024.3356169.

Pout, C., Macdonald, S., & Charlesworth, A. (2020). Sustainable energy sys-

tems in smart cities: How artificial intelligence can improve energy efficiency. *Energy Policy Journal*, 38(6), 254-262. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.10.013.

Ravish, R. & Swamy, S. (2021). Intelligent Traffic Management: A Review of Challenges, Solutions, and Future Perspectives. Transport and Telecommunication Journal, 22(2) 163-182. https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0013

Sherman, S. (2024). The Polyopticon: A Diagram for Urban Artificial Intelligences.
AI & Society, 39(2), 145-161. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01501-3.

Siddique, I. M. (2022). Sustainable water management in urban environments. *Chemistry Research Journal*, 7(4), 95–101. Retrieved from http://www.chemrj.org

Son, T H, Weedon, Z, Yigitcanlar, T, Sanchez, T, Corchado R, J & Mehmood, R (2023) Algorithmic Urban Planning for Smart and Sustainable Development: Systematic Review of the Literature. *Sustainable Cities and Society*, *94*, 104562.

Thompson, E. M., Lees, M. H., & Chantler, P. (2019). Machine learning approaches in urban planning: A review. *Journal of Urban Technology*, 26(3), 57-72. https://doi.org/10.1080/10630732.2019.1595074.

Tugui, A. (2023). A Scientific Perspective on Using Artificial Intelligence in Sustainable Urban Development.
Big Data and Cognitive Computing, 7(1), 3.
https://doi.org/10.3390/bdcc7010003.

Leal, W., Mbah, M. F., Dinis, M. A. P., Trevisan, L. V., de Lange, D., Mishra, A., Rebelatto, B., Ben Hassen, T., & Aina, Y. A. (2024). *The role of artificial intelligence in the implementation of the UN Sustainable Development Goal 11: Fostering sustainable cities and communities*. *Cities, 150*, 105021. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105021

van Wynsberghe A. (2023), Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. Ethics; 1 :213-218. doi: 10.1007/s43681-021-00043-6. Springer.

Zhang, F., Salazar-Miranda, A., Duarte, F., Vale, L., Hack, G., Chen, M. Ratti, C. (2024). Urban Visual Intelligence: Studying Cities with Artificial Intelligence and Street-Level Imagery. Annals of the American Association of Geographers, 114(5), 876–897. https://doi.org/10.1080/24694452.2024.231

3515.

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications, 11*, Article 233. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y.

Wu, Y., Luo, Y., Fu, Z., & Zhang, S. (2024). *The influence of smart green spaces on environmental awareness, social cohesion, and life satisfaction in high-rise residential communities*. *Buildings, 14*(9), 2917. https://doi.org/10.3390/buildings14092917

Complexity. (2024). Retracted: Green Space Planning and Landscape Sustainable Design in Smart Cities considering Public Green Space Demands of Different Formats. Complexity. 2024. 10.1155/2024/9870726.

UN-Water. (2020). Rapport Mondial des Nations Unites sur la mise end Valeur des resources end eau 2020 Leao et les changesets clamatoes. Paris: UNESCO. ISBN 978-92-3-200197-9. https://digitallibrary.un.org/record/3892703?ln=en&v=pdf.

Al-Raeei, M. (2024). *The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization*. *Sustainable Development, 33*(1), 508–517. https://doi.org/10.1002/sd.3131