

مدل تلفیقی طراحی مجتمع تجاری در برنامه ریزی های شهری نوین با استفاده از هوش مصنوعی بر پایه آموزه

های بازارهای ایرانی و صنعت ۶

رضا ترکمان^۱، سید مهدی ابطی^۲، زهرا رضائی^۳، احمد ترکمان^۴

چکیده

مجتمع های تجاری یکی از ارکان مهم توسعه شهری، نقش کلیدی در ایجاد تعاملات اقتصادی و اجتماعی ایفا کرده و با ایجاد فضاهایی برای تجارت و تعامل اجتماعی، به ایجاد هسته های اقتصادی در شهرها کمک می کنند. با پیشرفت فناوری های نوین و ظهور صنعت شش، شامل فناوری هایی مانند هوش مصنوعی، بلاکچین و غیره نیاز به تحول در طراحی و مدیریت این مجتمع ها بیشتر احساس می شود. با وجود تأثیر فناوری های جدید بر افزایش بهره وری و انعطاف پذیری مجتمع های تجاری، به ترکیب اصول معماری ایرانی با الگوریتم های هوش مصنوعی برای بهبود طراحی و مدیریت این مراکز، کمتر پرداخته شده است. هدف این تحقیق، ارائه مدل جامع برای طراحی مجتمع های تجاری با بهره گیری از هوش مصنوعی و اصول معماری ایرانی است تا علاوه بر ارتقا بهره وری و ایجاد فضاهایی با هویت بومی، پاسخ گوی نیازهای حال و آینده باشد. پژوهش، در دسته تحقیقات ترکیبی و کاربردی است و از مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه سازی چیدمان واحدهای سلولی و فضاهای معماری استفاده کرده است. داده ها و محدودیت های معماری به مدل وارد شده و با بهره گیری از الگوریتم های هوش مصنوعی، مدلی بهینه ارائه شده است. نتایج نشان داد، مدل پیشنهادی با دقت ۹۲٪، نسبت به سایر الگوریتم ها عملکرد بهتری داشته و ترکیب اصول معماری سنتی با هوش مصنوعی به ایجاد فضاهایی منحصربه فرد و انعطاف پذیر منجر شده که علاوه بر انطباق با نیازهای امروزی و حفظ هویت فرهنگی و افزایش پایداری مجتمع ها، قابلیت سازگاری با فناوری های آینده و صنعت ۶ را دارند. مدل می تواند به عنوان الگویی برای طراحان و مدیران مجتمع های تجاری جهت بهبود بهره وری و سازگاری با نیازهای شهری آینده مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: طراحی مجتمع تجاری، هوش مصنوعی، معماری ایرانی، صنعت شش، بهینه سازی چیدمان

طبقه بندی موضوعی: O33

¹ گروه مدیریت، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. ایمیل: Reza.torkaman@iau.ir

² گروه مدیریت، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. (نویسنده مسئول). ایمیل: Me.abtahi@iau.ac.ir

³ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. ایمیل: zrezaei@iau.ac.ir

⁴ گروه مهندسی معماری، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. ایمیل: Ahmadtorkamon@iau.ac.ir

Integrated model of commercial complex design in modern urban planning using artificial intelligence based on the teachings of Iranian markets and industry 6

Abstract

Commercial complexes, as key pillars of urban development, play a crucial role in fostering economic and social interactions. By creating spaces for commerce and engagement, they contribute to the formation of economic hubs in cities. With the advancement of modern technologies and the emergence of Industry 6, like artificial intelligence (AI), blockchain, and more, the need for transformation in the design and management of these complexes has become evident. Despite the impact of new technologies on increasing the efficiency and flexibility of commercial complexes, the integration of Iranian architectural principles with AI algorithms for improving the design and management has received little attention. This study aims to present a model for designing commercial complexes by utilizing AI and Iranian architectural principles to enhance efficiency, create rooted spaces, and meet future needs. The research falls under mixed-method and applied studies, employing artificial neural network modeling to optimize the arrangement of spatial units and layouts. Architectural data and constraints incorporate into the model, and through AI algorithms, an optimized model was developed. The results showed that the proposed model, with 92% accuracy, outperformed other algorithms. The combination of traditional architectural principles with AI has led to the creation of unique and flexible spaces that, in addition to aligning with contemporary needs and preserving cultural identity, enhance the sustainability of commercial complexes. Moreover, they can adapt to future technologies and Industry 6. The model can serve as a guideline for designers and commercial complex managers to improve efficiency and adaptability to urban needs.

Commercial Complex Design, Artificial Intelligence, Iranian Architecture, Industry 6, Layout Optimization

Introduction

Commercial complexes play a pivotal role in urban development, serving as essential hubs for economic activities and social interactions. As modern societies evolve, the design of these spaces must also adapt to accommodate new commercial and social needs. The emergence of technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and blockchain, collectively known as Industry 6.0, offers new opportunities for optimizing the design and management of commercial complexes. Despite these advancements, traditional architectural concepts, particularly those inspired by Iranian bazaars, still hold significant value in spatial organization and enhancing user experiences.

This study aims to integrate Industry 6.0 technologies with traditional Iranian architectural principles to create an optimized model for designing commercial complexes. The primary objective is to address challenges such as creating flexible, adaptive, and efficient spaces while preserving cultural heritage and meeting contemporary urban needs. Despite notable advancements in AI-driven design tools, a gap remains in utilizing culturally rich design principles alongside modern technology. This research seeks to bridge that gap by offering innovative solutions that enhance both functionality and cultural identity.

Methodology

To determine spatial solutions in commercial complexes, it is essential to identify spaces where commercial activities occur, including indoor spaces, covered areas, linear routes, and large open spaces. AI-driven platforms can define roles and incorporate data such as climate, urban location, complex size, development phases, and factors influencing profitability. These inputs guide AI algorithms to propose optimal spatial layouts and volumetric designs.

Let's teach the model our mental principles and patterns, the previous data is known

- Using synthetic data and presenting the data with specific rules
- Training the model with supervised learning based on manual labels
- Using rule-based methods (Rule-Based Systems): A set of rules is defined, each of which is suitable for each layout and set of features. For example, if the number of cells is more than 50 and the area of the fields is a certain value, a linear layout is selected, etc.
- Training the model with feedback (Reinforcement Learning) in complex qualities and changes, from a reinforcement model.

(Learning from hidden patterns and from existing data will determine the possibility of a suitable layout based on the input data of each complex, which is a kind of proposed research model).

This research focuses on designing and optimizing spatial layouts using AI, specifically Artificial Neural Networks (ANN). The study employs a mathematical modeling approach to predict optimal spatial arrangements. The dataset includes architectural elements and environmental data from 50 commercial complexes, later expanded to 1,000 entries through data augmentation techniques. Key elements such as corridors, shop configurations, and architectural features like four-way intersections and courtyards were extracted from traditional Iranian bazaars to inform the AI model.

The ANN model was structured with an input layer containing 12 neurons representing architectural elements (e.g., corridors, shops, four-way intersections). The hidden layers—comprising 8 and 6 neurons respectively—used ReLU activation functions to process spatial relationships. The output layer, with 8 neurons and a softmax activation function, predicted different spatial configurations, including linear, central courtyard, and cross-sectional layouts.

Results and Discussion: The integration of AI with traditional architectural principles resulted in significant improvements in designing and managing commercial complexes. Key findings include: **Optimized Spatial Utilization:** AI-driven layout optimization maximized space efficiency. Traditional elements, such as courtyards, were reimagined as multi-functional hubs.

The ANN model accurately predicted foot traffic patterns, reducing congestion and improving user flow.

Flexibility and Adaptability: Leveraging IoT sensors and blockchain enabled real-time spatial adjustments based on user preferences and occupancy data. This adaptability ensured optimal space utilization and enhanced user satisfaction.

Cultural Identity Preservation: The model successfully integrated traditional Iranian architectural elements, such as segmented spaces and intricate facades, into modern designs. This approach received positive feedback from stakeholders, emphasizing the potential for cultural preservation in contemporary commercial spaces.

4. Sustainability and Resource Efficiency:

AI simulations optimized natural lighting and ventilation, reducing reliance on artificial systems. This approach lowered energy consumption and operational costs, aligning with sustainable design goals.

User Experience Enhancement: The AI model prioritized user-centric design, leveraging IoT data for personalized navigation, dynamic signage, and smart facilities. Flexible spaces for community events further enhanced user engagement and satisfaction.

Challenges and Considerations: The implementation of advanced technologies required significant initial investment and technical expertise. Balancing modern functionality with traditional aesthetics posed additional design challenges. Future research should focus on cost-effective solutions and advanced optimization techniques, such as hyperparameter tuning and deeper network architectures.

The ANN achieved a 92% accuracy rate in predicting optimal layouts, demonstrating its potential as a powerful tool for spatial optimization. Comparisons with other machine learning algorithms, such as support vector machines (SVM) and k-nearest neighbors (KNN), revealed superior performance, especially in handling complex layouts.

Conclusion: This study concludes that integrating AI with traditional Iranian architectural principles provides a promising strategy for designing and managing commercial complexes in the Industry 6.0 era. The hybrid model not only enhances spatial efficiency and adaptability but also preserves cultural identity. By leveraging AI-driven insights and incorporating elements from Iranian bazaars, the proposed model addresses the evolving needs of modern urban spaces.

The findings emphasize the importance of interdisciplinary collaboration, where technology and tradition intersect to create innovative solutions. As commercial complexes continue to play a critical role in urban development, adopting such models can drive economic growth, improve user experiences, and foster cultural preservation. Future research should explore refining the model, assessing its scalability, and applying it to various types of commercial spaces. Combining AI with architectural simulations can yield even better outcomes, ensuring resilient, efficient, and culturally meaningful designs that meet the demands of the 21st century.

مقدمه

موضوع طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری به‌ویژه در عصر هوش مصنوعی و صنعت ۶، اهمیت بسیاری پیدا کرده است (Al-Dhaimesh and Taib, 2023). چراکه این مجتمع‌ها به‌عنوان هسته‌های اقتصادی و اجتماعی در جوامع مدرن، باید توانایی انطباق با نیازهای متغیر مصرف‌کنندگان و چالش‌های اقتصادی را داشته باشند. در سال‌های اخیر، تحولات فناوری و تغییرات در رفتار مصرف‌کنندگان، نیاز به طراحی فضاهای تجاری هوشمند و انعطاف‌پذیر را افزایش داده است (AlMasaeid et al., 2023). به‌علاوه، با توجه به تجربیات تاریخی و پیشرفت‌های صورت گرفته، مشخص شده است که ادغام اصول معماری ایرانی با فناوری‌های نوین می‌تواند فرصت‌های جدیدی را در این حوزه ایجاد کند (Ebrahimzadeh, 2024). با این حال، شکاف‌های قابل توجهی در پژوهش‌های پیشین وجود دارد؛ به‌ویژه در ارتباط با نحوه پیاده‌سازی هوش مصنوعی در طراحی و مدیریت این مجتمع‌ها که هنوز به‌طور جامع بررسی نشده است (Breque et al., 2021). بنابراین، هدف این مطالعه، شناسایی و تحلیل عوامل کلیدی در طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری با رویکرد هوش مصنوعی است که می‌تواند به بهینه‌سازی هزینه‌ها و بهره‌وری فضاهای تجاری کمک کند؛ همچنین با هدف پر کردن این شکاف‌های پژوهشی و ارائه مدلی جامع برای مدیریت و طراحی مجتمع‌های تجاری هوشمند انجام می‌شود.

ساختار مقاله شامل چند بخش کلیدی شامل: ابتدا مقدمه‌ای ارائه می‌شود که به توضیح اهمیت موضوع و شکاف‌های پژوهشی موجود در طراحی مجتمع‌های تجاری پرداخته و نتایج این بخش نشان می‌دهد که نیاز به مدل‌های نوین در این حوزه احساس می‌شود (Dwivedi et al., 2023). در بخش دوم، پیشینه تحقیق و روندهای کنونی بررسی می‌شود که نشان‌دهنده تحولات تاریخی و پیشرفت‌های فناوری در این زمینه است. سپس، در بخش اهداف تحقیق، به‌طور دقیق هدف مدل‌سازی و نتایج مورد انتظار از این تحقیق بیان می‌شود، که می‌تواند شامل بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها باشد (Senjak et al., 2023). در ادامه، مدل پیشنهادی و روش‌های استفاده از هوش مصنوعی در طراحی مجتمع‌های تجاری معرفی می‌شود. نتایج حاصل از این بخش نشان‌دهنده قابلیت‌های هوش مصنوعی در بهینه‌سازی فرآیند طراحی است. در نهایت، در بخش نتیجه‌گیری، تأثیرات بالقوه مدل بر طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری تحلیل می‌شود، که نشان‌دهنده توانایی این مدل در افزایش کارایی و بهبود تجربه مشتری در مجتمع‌های تجاری است. این ساختار به خواننده کمک می‌کند تا با اهداف و نتایج تحقیق آشنا شده و به‌خوبی از اهمیت آن مطلع شود.

بیان مسئله: طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری در جهان امروز، به‌دلیل پیچیدگی‌های فزاینده محیط‌های اقتصادی و اجتماعی، نیازمند رویکردهای نوین و کارآمد است (Eswaran et al., 2024). و در همین راستا، اهمیت بهره‌گیری از اصول و آموزه‌های معماری ایرانی در طراحی مجتمع‌های تجاری با هویت بومی و کارکردی نیز به چشم می‌آید (Ebrahimzadeh, 2024). اما چالش اصلی، ترکیب مناسب این دو حوزه – فناوری‌های نوین و معماری سنتی – و ارائه

راهکاری جامع برای طراحی و مدیریت مؤثر مجتمع‌های تجاری است. ضرورت تحقیق از آنجا است که پیشرفت‌های روزافزون در فناوری‌های دیجیتال و ظهور صنعت ۶، که ترکیبی از اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، بلاکچین، و تحلیل داده‌های بزرگ است، به‌طور چشمگیری نحوه طراحی و مدیریت فضاهای تجاری را متحول کرده است (Subbia et al., 2024). مجتمع‌های تجاری به‌عنوان بستری برای انجام فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، باید از لحاظ طراحی و مدیریت به‌گونه‌ای باشند که قابلیت انطباق با تغییرات سریع محیط‌های مدرن را داشته‌باشند. در همین حال، ایران با سابقه تاریخی درخشان در زمینه معماری و شهرسازی، از طریق بهره‌گیری از اصول سنتی معماری خود توانسته است فضاهای تجاری منحصربه‌فردی را ایجاد کند که همچنان به‌عنوان الگویی الهام‌بخش برای بسیاری از طراحان معاصر عمل می‌کند. بازارهای سنتی ایران، با استفاده از اصول خاصی چون محوریت فضای عمومی، ترکیب فضاهای باز و بسته، و توجه به جزئیات تزئینی، توانسته‌اند فضاهای تجاری کارآمد و پایدار را فراهم کنند. با این حال، در دنیای مدرن و با ورود فناوری‌های نوین، این اصول باید با رویکردهای جدید طراحی و مدیریت پروژه همسو شوند تا بتوانند در محیط‌های پیچیده امروزی به کار گرفته شوند (Ebrahimzadeh, 2024).

اهداف این تحقیق شامل: تعیین عوامل مؤثر بر توسعه مجتمع‌های تجاری با استفاده از فناوری‌های نوین و صنعت ۶ بوده که به بررسی تأثیر فناوری‌های نوین و هوش مصنوعی بر توسعه فضاهای تجاری می‌پردازد و عواملی که به بهبود طراحی و عملکرد این فضاها کمک کنند، شناسایی می‌شوند از سوئی طراحی طبقه‌بندی مجتمع‌های تجاری بر اساس ویژگی‌های اساسی با استفاده از هوش مصنوعی، به طراحی یک مدل طبقه‌بندی هوشمند برای مجتمع‌های تجاری می‌پردازد که ویژگی‌های مختلف از جمله موقعیت جغرافیایی، اندازه، و نوع کاربری را در نظر می‌گیرد. شناسایی روش‌های ترکیبی برای سازماندهی معماری و برنامه‌ریزی مجتمع‌ها و با تلفیق اصول معماری ایرانی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مدلهایی برای سازماندهی فضایی و برنامه‌ریزی مجتمع‌ها ارائه می‌شود لذا ارائه مدلی جامع برای بهره‌وری و مدیریت هزینه در مجتمع‌های تجاری هوشمند، راهکاری است که با استفاده از داده‌های بزرگ و الگوریتم‌های هوشمند، به بهینه‌سازی بهره‌وری و کاهش هزینه‌های پروژه‌های ساخت مجتمع‌های تجاری کمک می‌کند.

فرضیات اصلی: استفاده از هوش مصنوعی در طراحی چالش‌های تجاری بر اساس آموزه‌های بازار ایرانی و صنعت ۶ منجر به بهینه‌سازی فضاها و افزایش بهره‌وری می‌شود. فرضیات فرعی: اول: الگوریتم‌های توصیه‌گر هوش مصنوعی می‌توانند با تحلیل داده‌های ورودی مبتنی بر صنعت ۶ بهترین چالش‌های تجاری را پیشنهاد کنند. دوم: استفاده از آموزه‌های بازار ایرانی در طراحی مجتمع‌های تجاری، منجر به افزایش جذابیت فضاهای تجاری برای مشتریان می‌شود. سوم: تحلیل داده‌های رفتاری مشتریان توسط سیستم‌های توصیه‌گر، موجب بهبود پیش‌بینی نیازهای کاربران و افزایش رضایت آنان می‌شود.

سؤالات اصلی: چگونه می‌توان از هوش مصنوعی و آموزه‌های بازار ایرانی برای طراحی بهینه چینش مجتمع‌های تجاری بر اساس صنعت ۶ استفاده کرد؟

سؤالات فرعی: اول: چگونه می‌توان از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیشنهاد بهترین چینش واحدهای تجاری در مجتمع‌ها استفاده کرد؟ دوم: چه عواملی از آموزه‌های بازار ایرانی می‌توانند در طراحی بهینه مجتمع‌های تجاری مؤثر باشند؟ سوم: ۳- چگونه می‌توان با استفاده از داده‌های رفتاری مشتریان، مدل پیشنهادی را بهبود بخشید؟

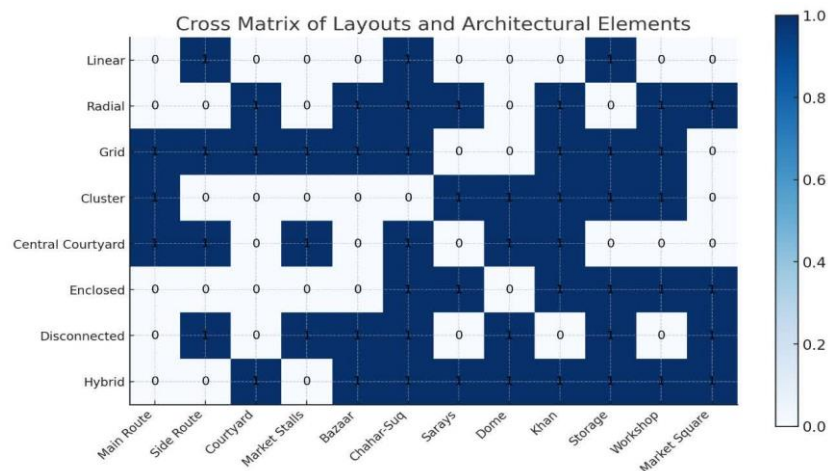
موضوع دیگر واژه‌ی طراحی واحدهای سلولی (Retail Design) که معمولاً به طراحی فضاهای خرده‌فروشی و فروشگاه‌های اشاره دارد، اما در مفهوم گسترده‌تر، شامل طراحی فضاهای تجاری است که تجربه‌ی مشتری و جذابیت‌های بصری در این فضاها را بهینه می‌کند. برای مجتمع‌های تجاری، که شامل ترکیبی از فروشگاه‌ها، دفاتر و خدمات عمومی است، اصول طراحی واحدها سلولی می‌توانند به طراحی فضاهایی کمک کنند که افراد را جذب و تجربه‌ی مطلوبی برای آنها فراهم کند که شامل برنامه‌ریزی چیدمان فضا، استفاده از نورپردازی مناسب، و همچنین بهینه‌سازی مسیرهای رفت و آمد و دسترسی به فروشگاه‌ها است که بر اساس رفتار و نیازهای مشتریان برنامه‌ریزی می‌شود. در طراحی مجتمع‌های تجاری، اصول طراحی واحدهای سلولی می‌توانند به افزایش تعامل و رضایت مشتری از طریق بهبود تجربه فیزیکی و بصری کمک کرده و بهینه‌سازی فضای داخلی برای تسهیل جریان مشتری و کاهش تراکم در فضاهای پرتردد، بهبود دسترسی به خدمات و محصولات از طریق چیدمان مناسب و روشنایی هدفمند کمک نماید (Minerva et al., 2024).

به‌طور کلی، طراحی واحدهای سلولی در طراحی فضاهای تجاری و مجتمع‌های تجاری نقش مهمی ایفا می‌کند و به ایجاد فضاهای کارآمدتر و جذاب‌تر کمک می‌کند که در نهایت، مشتریان بیشتری را جذب و تجربه‌ای دلپذیرتر فراهم می‌آورد. این همان مفهوم شخصی‌سازی (Personalization) در صنعت ۶ است که همزمان بحث دانش چند رشته‌ای را گسترش داده و مقاله را در زمره دانش چند رشته‌ای^۵ و عمدتاً مدیریت فناوری اطلاعات قرار می‌دهد (Ghansah and Lu, 2023).

بحث جانمایی و سیرکولاسیون فضا، از دوران مدیریت صنعتی به دانش بشری وارد شده بود (جانمایی واحدهای اداری، واحدهای صنعتی، چینش تجهیزات صنعتی و غیره). در این مقاله به ارائه مدلی جهت جانمایی مجتمع تجاری در کالبد شهر، جانمایی واحدهای سلولی درون مجتمع تجاری و سیرکولاسیون فضا و دسترسی مشتریان به واحدهای سلولی، با استفاده از هوش مصنوعی و صنعت ۶ با در نظر گرفتن آموزه‌های بازارهای ایرانی خواهیم پرداخت. مسئله اصلی در طراحی مجتمع‌های تجاری، نه تنها در انتخاب مکان و طراحی داخلی بلکه در چیدمان و سازماندهی فضاهای مختلف است. این فضاها شامل واحدهای سلولی، ایستگاه‌های کاری، و ترکیبات حجمی و فضایی مانند حیاط مرکزی، راسته‌ها، و میداين است. هر مجتمع تجاری برای بهینه‌سازی فضا و ایجاد ترکیبات فضایی متنوع نیاز به در نظر گرفتن چندین عنصر معماری-برنامه‌ریزی دارد. در بخش طراحی مجتمع تجاری، گذشته از قرارگیری و مکان‌یابی مجتمع تجاری از یک سوء و طراحی داخلی از سوی دیگر، در میانه نیاز به قرارگیری واحدهای سلولی و در سطح کلی تر، ایستگاه‌های کاری داریم. فضاهای تشکیل دهنده مجتمع‌های تجاری می‌تواند ایستگاه‌های کاری، پیرامون حیاط

⁵ دانش چند رشته ای Multi Disiplinary عمدتاً در حیطه مدیریت دسته بندی می شوند و باید با دانش بین رشته ای یا Inter Diciplinary تمایز داده شود.

مرکزی، اطراف فضاهای سرپوشیده مرکزی، در امتداد راسته‌ها، در راستای عمود بر یکدیگر، در اطراف میدان‌ها، به صورت بی نظم (دیکانستراکشن) و غیره باشد که از ترکیب آنها، انواع ترکیبات فضایی و حجمی بازارهای ایران را خواهیم داشت. هر ترکیب از عناصر معماری-برنامه‌ریزی مشخصی تشکیل شده‌اند و این عناصر شامل: رسته اصلی، رسته ذخیره (جانپی)، چهارسوق، خان (میدان)، جلوخان، حجره، دالان، سرای، تیم و تیمچه، خانبار، گیساریه و اتاق‌های خدمات می‌باشد. هر ترکیب نیاز به داشتن چندین عنصر از موارد ذکر شده را دارد تا امکان ایجاد فضاهای مختلف و در نتیجه راه حل‌های حجمی-فضایی متنوعی برای بازارها فراهم کند. برای تعیین انواع راه حل‌های حجمی-فضایی بازارها، در ابتدا باید فضاهایی را که اشیاء تجاری در اطراف آنها شکل می‌گیرند، مشخص کرد، به عنوان مثال فضای داخلی، فضاهای پوشیده، رسته، فضای بزرگ و میدان را داریم؛ مثلاً اگر مولفه یک، هشت، نه و دوازده را داشته باشیم، نوع طراحی حجمی مجتمع تجاری ۷ را خواهیم داشت و الخ؛ لذا در پلتفرم هوش مصنوعی مثلاً می‌توان تمام رول‌ها را تعریف کرده و داده‌های موقعیت آب و هوا، موقعیت قرارگیری در شهر، اندازه مجتمع، مراحل توسعه مجتمع تجاری، دسته بندی انواع مجتمع‌های تجاری با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، عوامل تعیین کننده سود در هر مرحله توسعه، جمعیت، ابعاد زمین و غیره را به نرم‌افزار داده تا طراحی حجمی و پلان را پیشنهاد می‌دهد.



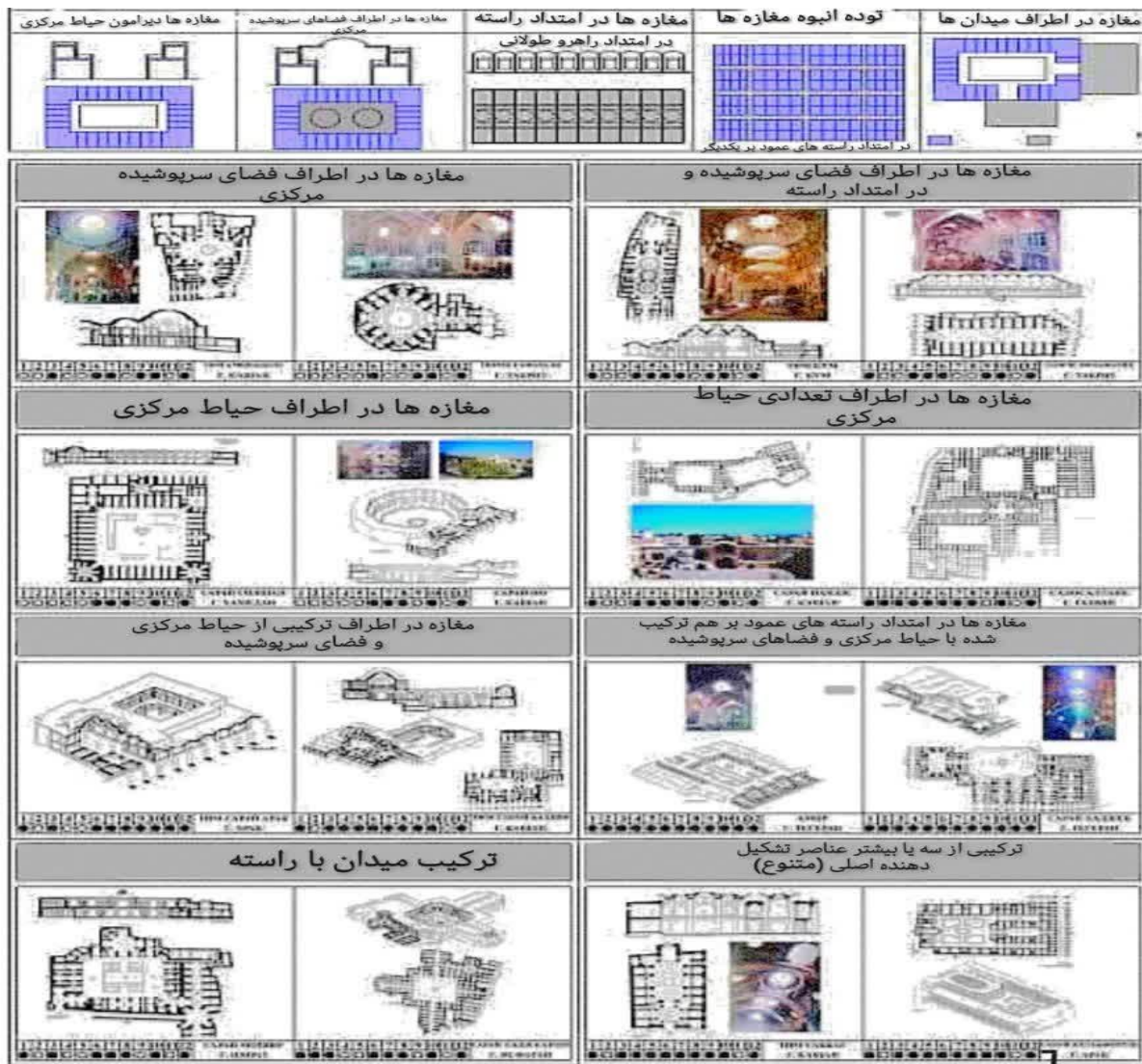
شکل شماره ۱- ماتریس تقاطع (ارتباط چیدمان با عناصر معماری)

اگر قصد داشته باشیم به مدل، اصول و الگوهایی را که در ذهن خود داریم یاد بدهیم، داده‌های قبلی معتبر نیستند یا به درستی نمایانگر معیارهای ما نیستند لذا روش‌های زیر ملاک عمل خواهد بود:

- استفاده از داده‌های مصنوعی (Synthetic Data) و تولید داده‌ها با قوانین مشخص، داده‌هایی تولید می‌کنیم که دقیقاً اصول و معیارهای ذهنی ما را دنبال کند.

- آموزش مدل با رویکرد نظارت شده (Supervised Learning) بر اساس برچسب‌های دستی نمونه‌های مختلف مجتمع‌ها را به صورت دستی و بر اساس دانش خود برچسب گذاری می‌کنیم و به این صورت ویژگی‌های هر مجتمع را مشخص کرده و سپس نوع چینش مناسب را به مدل نشان می‌دهیم. (این برچسب‌ها باید نشان‌دهنده معیارهای ذهنی شما باشند).

- استفاده از روش‌های مبتنی بر قوانین (Rule-Based Systems): اگر اصول چیدمان بسیار خاص و دقیق باشد، از یک سیستم مبتنی بر قوانین استفاده می‌کنیم. در این رویکرد، مجموعه‌ای از قوانین تعریف شده که هر کدام برای نوعی از چیدمان و برای مجموعه‌ای از ویژگی‌ها مناسب است. به عنوان مثال، اگر تعداد حجره‌ها بیشتر از ۵۰ باشد و مساحت میدان‌ها بیش از مقدار خاصی باشد، چیدمان خطی انتخاب شده و الخ. این سیستم می‌تواند به صورت مکمل در کنار شبکه عصبی نیز استفاده شود، مثلاً در مرحله‌ی نهایی برای اصلاح خروجی‌های مدل می‌توان از آنها استفاده کرد.



عناصر معماری ۱- راسته ۲- راسته فرعی ۳- چارسوق ۴- خان (میدان) ۵- جلوخان ۶- حجره ۷- دالان ۸- سرا ۹- تیمچه ۱۰- ...

شکل شماره ۲: انواع ترکیبات فضایی و حجمی بازارهای ایران (منبع: ترکمان، ۲۰۱۰)

- آموزش مدل با بازخورد (Reinforcement Learning) در معیارهای پیچیده و متغیر، از یک مدل یادگیری تقویتی استفاده می‌کند. (یادگیری از الگوها پنهان شده و از داده‌های موجود، امکان چیدمان مناسب بر اساس داده‌های ورودی هر مجتمع را تعیین خواهد کرد که به نوعی مدل پیشنهادی تحقیق است).

ادبیات تحقیق:

در ابتدا به جستجوی مقالاتی پرداختیم که بیشترین شباهت را به موضوع مورد نظر داشته باشند. به دلیل خاص بودن عنوان پژوهش، نتایج قابل توجهی به دست نیامد که به آن در بخش نوآوری موضوع خواهیم پرداخت. لذا، بر سه حوزه کلیدی تمرکز خواهیم کرد و نتایج آن‌ها را منعکس خواهیم کرد: موضوع اول، بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری است، که شامل استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌های پیش‌بینی برای بهبود کارایی و فضای تجاری می‌شود. دوم، تحلیل صنعت ۶ و تأثیر فناوری‌های نوینی همچون اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ و رباتیک است که می‌تواند تحول دیجیتالی و هوشمندسازی مجتمع‌ها را به منظور افزایش بهره‌وری انرژی، امنیت و بهبود تجربه کاربری تسهیل کند. سوم، الهام از اصول معماری بازارهای سنتی ایران، مانند بازارهای اصفهان، تبریز و غیره به منظور طراحی پایدار و بهره‌گیری بهینه از فضا است. این رویکرد می‌تواند نوآوری‌های طراحی را با سنت‌های معماری ایرانی ادغام کند. ترکیب این سه حوزه به طور جامع در تدوین چارچوبی برای طراحی و مدیریت بهینه مجتمع‌های تجاری نقشی حیاتی ایفا می‌کند. در ادامه، به بررسی تحقیقات انجام‌شده در هر یک از این حوزه‌ها خواهیم پرداخت.

محور اول: بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی طراحی و مدیریت مجتمع‌های تجاری:

- مقاله‌ای با عنوان "عناصر طراحی داخلی فروشگاه‌های خرده‌فروشی: مطالعه‌ای کیفی در راستای ارتقای تجربه مشتری در فروشگاه" (Minerva et al., 2024). مقاله بر اهمیت ایجاد تجربه مثبت برای مشتریان با استفاده از طراحی مناسب تمرکز دارد. روش تحقیق کیفی مبتنی بر بحث گروهی متمرکز (FGD) بوده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که عوامل فیزیکی (مانند نمای بیرونی، فضای داخلی، چیدمان، و نمایش محصولات)، عوامل اجتماعی (مانند ازدحام و ویژگی‌های مشتریان و کارمندان)، و عناصر نمادین و معنا دار نقش مهمی در ایجاد تجربه‌ای دلپذیر برای مشتری دارند.

- مقاله‌ای با عنوان "ارتقا پروژه‌های ساخت و کاهش ریسک با استفاده از هوش مصنوعی" (Senjak et al., 2023) بیان می‌کند که هوش مصنوعی به عنوان یک فناوری با ظرفیت بالقوه مطرح شده است که می‌تواند در طول دوره عمر پروژه از جوانب مختلفی مانند ایمنی، هزینه، زمان و مدیریت منابع به صنعت AEC کمک کند و در طراحی و ساخت می‌تواند بهبودهای مختلفی از جمله بهبود زمان، هزینه و کیفیت را به همراه داشته باشد.

- در مقاله هوش مصنوعی مکالمه‌ای در صنعت AEC مروری بر وضعیت فعلی، چالش‌ها و فرصت‌ها (Dwivedi et al., 2023). با هدف مطالعه تاریخچه تکامل هوش مصنوعی مکالمه‌ای از دهه 1200 میلادی انجام و بیان می‌دارد که استفاده از آن در صنعت معماری، طراحی و مهندسی و ساخت و ساز هنوز در مراحل ابتدایی خود می‌باشد. به سبب زیادی مقاله در این حوزه، جدول خلاصه مقالات در پیوست ارائه خواهد شد.

جدول شماره (۳): خلاصه مقالات محور اول

ردیف	عنوان مقاله	نویسنده / نویسندگان - سال	نتایج	شکاف / تحقیقات آینده
۱	نقش نقشه‌های خودسازمانده بیزین در مدیریت پروژه‌های نوآوری	de Oliveira, M.A. همکاران (2023)	نقشه‌های خودسازمانده و شبکه‌های بیزین به کاهش ابهامات و هزینه‌های پروژه	بررسی بیشتر در بهینه‌سازی کاربرد ابزارها در صنایع مختلف
۲	انتظارات مدیران پروژه از هوش مصنوعی: مطالعه دلفی	Holzmann, V. و همکاران (2022)	هوش مصنوعی بهبود وظایف مدیریت پروژه را از جمله زمان‌بندی و بودجه‌بندی	بهبود تعاملات انسان-هوش مصنوعی در مدیریت پروژه
۳	مدل بهینه‌سازی مورچگان برای تسطیح منابع	Duraiswamy, A. و Selvam, G. (2022)	الگوریتم ACO کارایی تسطیح منابع را افزایش می‌دهد	توسعه الگوریتم‌های پیشرفته‌تر برای تخصیص منابع
۴	پردازش زبان طبیعی در ساخت و ساز هوشمند	C. Wu. و همکاران (2022)	NLP اطلاعات را برای مدیریت هوشمند پروژه‌های ساخت‌وساز استخراج و بهبود	تحقیق بیشتر در NLP مدیریت پروژه‌های بزرگ
۵	هوش مصنوعی در مدیریت پروژه: مرور نظام‌مند	S. Bento. و همکاران (2022)	هوش مصنوعی ظرفیت بهبود مدیریت پروژه و کیفیت آن را نشان می‌دهد	نیاز به بررسی عمیق‌تر محدودیت‌های AI- PM
۶	مانیتورینگ خودکار سایت‌های ساخت‌وساز با یادگیری عمیق	Oliveira, B.A.S. و همکاران (2021)	یادگیری عمیق به نظارت خودکار سایت‌های ساخت‌وساز کمک می‌کند	بهبود دقت نظارت خودکار در پروژه‌های پیچیده
۷	وضعیت و روندهای هوش مصنوعی در مدیریت پروژه	L. Kuster. و همکاران (2021)	خودکارسازی و بهینه‌سازی هزینه‌ها از روندهای اصلی هوش مصنوعی	تحقیق در بهینه‌سازی خودکارسازی هزینه‌های پروژه
۸	مدل خودکار تراز برنامه‌های کوتاه و بلندمدت در ساخت‌وساز	F. Amer. و همکاران (2021)	سیستم مبتنی بر NLP فعالیت‌ها را به وظایف برنامه‌ریزی تطبیق به‌طور خودکار	توسعه سیستم‌های پیشرفته NLP تطبیق فعالیت‌های پیچیده
۹	مدیریت سایت هوشمند با فناوری سه‌بعدی و G5	Z. Xiong. و همکاران (2021)	استفاده از فناوری G5 و هوش مصنوعی برای مدیریت سایت‌های ساخت‌وساز	بهبود فناوری سه‌بعدی و AI برای مدیریت سایت‌های پیچیده
۱۰	انتخاب ویژگی پویا برای پیش‌بینی بهره‌وری ساخت-	Cheng, M.Y. و همکاران (2021)	مدل ترکیبی AI دقت پیش‌بینی بهره‌وری پروژه‌های ساخت‌وساز را افزایش می‌دهد	بهبود الگوریتم‌های AI برای پیش‌بینی بهره‌وری دقیق‌تر
۱۱	توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت پروژه	Hofmann, P. و همکاران (2021)	ماتریس کاربرد AI- PM، روش‌های مؤثر پیش‌بینی و تصمیم‌گیری را ارائه می‌دهد	کاربرد بیشتر ماتریس‌های AI در حوزه‌های جدید مدیریت پروژه
۱۲	نقشه‌های شناختی برای تصمیم‌گیری در پروژه‌ها	Al-subhi, S.H. و همکاران (2021)	نقشه‌های نوتروسوفیک دقت بیشتری نسبت به نقشه‌های شناختی معمول دارند	تحقیق جهت ادغام نقشه‌های نوتروسوفیک با سایر سیستم‌ها
۱۳	ارزیابی هزینه تولید و گارانتی در طراحی محصول جدید	Relich, M. و همکاران (2021)	شبکه عصبی هزینه تولید و گارانتی را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند	بررسی کاربرد AI در طراحی محصول و ارزیابی هزینه‌ها
۱۴	مرور هوش مصنوعی در تحقیقات مدیریت پروژه	Ruiz, J.G. و همکاران (2021)	تکنیک‌های ترکیبی AI به‌طور گسترده در مناقصات، منابع انسانی و عملیات پروژه مؤثرند	پژوهش در استفاده گسترده‌تر از AI در صنایع مختلف
۱۵	چارچوب مفهومی استفاده از AI در چارچوب مفهومی نیازهای AI و مدیریت پروژه	Auth, G. و همکاران	چارچوب مفهومی نیازهای AI و مدیریت پروژه	توسعه ابزارهای AI برای

مدیریت پروژه	(2021)	را به هم پیوند می دهد	بهینه سازی مدیریت پروژه
۱۶	تأثیر هوش مصنوعی بر آینده مدیریت پروژه	Alshaikhi, A. و همکاران (2021)	تأکید بر ترکیب AI و مهارت های انسانی برای موفقیت در مدیریت پروژه مهارت های همگام با AI
۱۷	مدل تخمین شبکه عصبی برای بهینه سازی زمان بندی پروژه های نرم افزاری	Hamada, M.A. et al. (2021)	بهینه سازی زمان پروژه با پیش بینی دقیق زمان بندی توسعه مدل های بیشتر برای انواع پروژه های نرم افزاری
۱۸	استفاده از هوش مصنوعی در طراحی تنظیم شده	Karan, E. et al. (2021)	بهبود عملکرد الگوریتم ها در پروژه های پیچیده استفاده از NLP و الگوریتم های جستجو در تصمیم گیری ساخت
۱۹	تأثیر هوش مصنوعی در مدیریت پروژه های ساختمانی آفریقای جنوبی	Makaula, S. et al. (2021)	ارائه چارچوبی برای هوش مصنوعی در مدیریت ساخت و ساز بررسی کاربردهای بیشتر در پروژه های بزرگ مقیاس
۲۰	سیستم مبتنی بر دانش برای رفع تضادهای طراحی در BIM	Hsu, H.C. et al. (2020)	توسعه سیستمی مبتنی بر یادگیری ماشینی برای رفع تداخلات طراحی در BIM بررسی کاربردهای مشابه در دیگر پروژه های ساختمانی
۲۱	تحلیل علم سنجی هوش مصنوعی در صنعت AEC	Darko, A. et al. (2020)	تأیید روند استفاده از AI و تکنیک های یادگیری ماشینی در صنعت AEC بررسی بیشتر کاربرد AI در مراحل مختلف پروژه های AEC
۲۲	یادگیری عمیق در مدیریت ساخت و ساز	Akinosho, T.D. et al. (2020)	شناسایی کاربردهای یادگیری عمیق در مدیریت هزینه ها و ایمنی ساخت و ساز توسعه روش های یادگیری عمیق برای کاربردهای ساخت و ساز
۲۳	بررسی مدیریت پروژه خودکار با هوش مصنوعی	Auth, G. و همکاران (2019)	استفاده از هوش مصنوعی در اتوماسیون وظایف پروژه های تجاری بررسی شد کشف محدودیت های بیشتر در کاربرد هوش مصنوعی
۲۴	استفاده از چت بات ها در مدیریت پروژه	B̄erziša, C̄irule, D. S. (2019)	چارچوب چت بات AI کارآمد در صرفه جویی زمان و کاهش شکست پروژه ها بررسی کاربرد چت بات ها در پروژه های پیچیده تر

محور دوم: تحلیل صنعت ۶ و تأثیر فناوری های نوین بر طراحی مجتمع های تجاری:

۱- مقاله ای با عنوان مقاله "خرده فروشی ۵,۰: ایجاد تجربیات خرید مقاوم و مشتری محور از طریق فناوری های پیشرفته" ([Ejjami and Rahim, 2024](#)) به بررسی تغییرات عمده در صنعت خرده فروشی تحت تأثیر صنعت ۵,۰ می پردازد. مسئله اصلی این پژوهش، چالش های موجود در حفظ پایداری عملیاتی و افزایش رضایت مشتری در پیاده سازی فناوری های نوین است. این مطالعه شکاف تحقیقاتی را در زمینه نیاز به چارچوب های نظارتی برای کاربرد هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیا (IoT) در خرده فروشی شناسایی می کند.

۲- مقاله ای با عنوان نقش هوش مصنوعی در مدیریت پروژه در دوره صنعت پنج ([Taboada et al., 2023](#)) با موضوع اثربخشی و پایداری در مدیریت پروژه با استفاده از هوش مصنوعی را مورد مطالعه قرار داده است. مقاله از طریق یک مرور نظام مند ادبیات نشان می دهد که تعداد مقالات تأثیر گذار در زمینه مدیریت پروژه با استفاده از هوش مصنوعی در دهه گذشته به طور قابل توجهی افزایش یافته است

جدول شماره (۴): به کارگیری صنعت ۶ در صنعت طراحی و ساخت ساختمان

تجزیه و تحلیل	موضوعات و کلمات کلیدی	مراجع
- صنعت طراحی و ساخت ساختمان (AEC) - انقلاب صنعت یک تا شش - طراحی هوشمند و پایداری	- معماری، مهندسی، ساخت و ساز، صنعت، مفاهیم اساسی هوش مصنوعی، بهره‌وری، جایگزین‌های طراحی، همکاری بین‌رشته‌ای، طراحی ساختمان هوشمند، هوش مصنوعی، طراحی پایدار، داده‌های زیست‌محیطی، انرژی‌های تجدیدپذیر. - روش شناسی کل‌نگر، ساخت و ساز. - افزایش تجسم، پایداری - عصر معاصر، صنعت یک تا پنج - چالش‌های اجتماعی - صنعت ۶، صنعت طراحی و ساخت، متصل است - شبکه‌های صنعتی پویا	[1,7,9-12,17,18,28,29,31-36,41,41-43,50,53,56,61,62,64-87]
- تولیدات واقعیت افزوده	شبکه‌های ارزش سازگار، اهمیت اتخاذ دیدگاه انتقادی	[41,63,69]
نقش پرینت سه‌بعدی در ساختمان و برنامه ریزی شهری	قدرت دگرگون‌کننده تولید مواد افزودنی، به‌ویژه چاپ سه‌بعدی، بر روی فرآیندهای تولید در صنعت AEC. مزایای پرینت سه‌بعدی در افزایش طراحی و جنبه‌های زیبایی‌شناسی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها	[43-47]
هوش مصنوعی و ربات‌های خودمختار، دیجیتال فناوری دوقلو، زنجیره تأمین	هوش مصنوعی (AI)، فناوری‌های رباتیک، زنجیره تأمین 5.0، تنگنای عملیاتی، بهینه‌سازی فرآیند، هوش مصنوعی، الگوریتم‌ها، دستگاه‌های به‌هم‌پیوسته، حسگرها و مستقل. قابلیت‌ها، بلاک‌چین. زنجیره تأمین صنعتی را ساده می‌کند. ربات‌ها، ربات‌های مشارکتی (cobots)، استراتژی دیجیتال. عملیات سیستم، به حداکثر رساندن منابع. سیستم‌های تصمیم‌گیری الگوریتمی، داده‌های شخصی، همبستگی‌ها	[2,3,5,7,8,10,23,39,40,44,45,56,62,66,88-91]
ماشین و یادگیری عمیق و رباتیک پیشرفته، متاورس	هوش مصنوعی، هوش انسانی و تقویت شده هوش (AuI)، رباتیک یادگیری عمیق، دقت و تشخیص. تجزیه و تحلیل داده‌ها، روبات‌های پیشرفته، بهره‌وری، ایمنی. تصمیم‌گیری، چرخه زندگی. یادگیری ماشین، تقویت شده واقعیت مجازی، پروژه‌های در مقیاس کوچک. مجازی محیط، متاورس، واقعیت افزوده، آواتارها و هولوگرام‌ها	[2,3,5,7,8,10,23,39,40,44,45,62,66,88-91]
سیستم‌های فیزیکی-سایبری	سیستم‌های فیزیکی-سایبری، اتصال و ارتباطات. رویه‌های فیزیکی-سایبری، صنعت 5.0، زیب، شاه، اتوماسیون	[36,55,64,91,92,101,102]
مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به‌عنوان یک شبیه‌سازی فناوری دوقلو دیجیتال	سنسورهای هوشمند، سایت‌های ساخت و ساز، نظارت در زمان واقعی. تجسم زمان واقعی و تکرار طراحی. اجزای تکنولوژیکی، اصول اصلی. تبادل داده‌ها، مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، مدیریت تسهیلات (FM) ساختمان‌های فیزیکی و مجازی، زیرساخت‌ها و یکپارچه تحویل پروژه شبیه‌سازها	[4,16,19,26,27,46,55,57,88,93,94,101-104]
تحول دیجیتال	بازنمایی دیجیتال همه‌جانبه، ذی‌نفعان. دیجیتال فناوری‌ها، صنعت	[16,33,45,105]
Big Data AI and IoT	ادغام، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، ظرفیت‌های تحلیلی، داده‌های بزرگ، الگوهای ساخت و ساز، شیوه‌های ساخت و ساز، و پروژه بی‌نظمی‌ها	[10,23,34,56,58,64,90,91,99,100,103,106,107]
رویکرد مشتری محور	فناوری، آداب و رسوم دیرینه. مشتری مداری رویکرد، بازخورد بلادرنگ، تخصص انسانی	[30,59]
ساختارهای دوستار محیط و پایدار	عملیات پایدار اهمیت کار ربات‌ها در کنار انسان‌ها، با هدف ایجاد محیطی سازگارتر و شخصی‌تر محیط ساخت و ساز برابری بخش ساخت و ساز، ساخت و ساز سازگار با محیط‌زیست	[22,52,60,108]
طراحی انسان‌محور و تاب‌آوری	انسان‌محوری، طراحی پایدار. تأکید Industry 5.0 بر همکاری است. بین انسان و ماشین ادغام توانایی‌های انسانی با فناوری‌های پیشرفته برای نتایج بهتر ساختمان نوآوری انسان‌محور.	[10,22,24,39,44,60,86,88,109]
هاها و دیدگاه‌چالش	چالش‌های پروژه، نقاط عطف، زمانی، مالی. چالش‌هایی که بخش ساختمان در ادغام دیجیتال با آن مواجه است و قلمروهای فیزیکی چالش‌های پیش روی سازندگان معاصر و اهمیت نگهداری تجهیزات	[6,54,66,75]
بهره‌وری انرژی، جداسازی، اقتصاد دایره‌ای، بازیافت، انرژی پایدار HAVC	بهره‌وری انرژی. نورپردازی، صدا، جریان هوا و شبیه‌سازی. انرژی پایدار HVAC، ایمنی، کیفیت هوای داخل ساختمان، مصرف انرژی	1,12,14,25,67,70,71,76-79,88-90,95,97,106,108,110-118]

منبع: (Almusaed, A., et al, 2023)

محور سوم: الهام از اصول معماری بازارهای سنتی ایران با استفاده از تکنولوژی‌های نوین جهت طراحی پایدار:

مقاله‌ای با عنوان "پلاگین معماری: طراحی، نوآوری و فناوری در معماری ایران" (Ebrahimzadeh, 2024) در دانشگاه پلی تکنیک کاتالونیا نوشته شده است و به بررسی و توسعه یک پلاگین نرم‌افزاری انقلابی در معماری ایران می‌پردازد که با استفاده از هوش مصنوعی به طراحی معماری کمک می‌کند. مسئله اصلی تحقیق، چالش‌های ناشی از نادیده گرفتن عوامل فرهنگی و اقلیمی در معماری ایران است که منجر به کاهش طول عمر بناها، مصرف بالای انرژی و بی‌ثباتی محیطی می‌شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که با کمک الگوریتم‌های هوش مصنوعی و روش‌های یادگیری ماشین، پلاگین نه تنها باعث افزایش کارایی طراحی معماری می‌شود، بلکه پیوندی عمیق‌تر میان محیط‌های ساخته شده و زمینه‌های فرهنگی و محیطی ایجاد می‌کند و به کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری کمک می‌کند.

شکاف پژوهشی: - عدم وجود مدل‌های جامع برای طراحی مجتمع‌های تجاری بر اساس اصول معماری ایرانی و فناوری‌های هوش مصنوعی و آموزه‌های معماری ایرانی.

- عدم توجه کافی به اصول پایداری و تعامل انسان-ماشین در طراحی مجتمع‌های تجاری و به‌کارگیری آن در محیط‌های تجاری و ترکیب آن با فناوری‌های هوش مصنوعی به‌طور دقیق (Chen, and Lin, 2021).

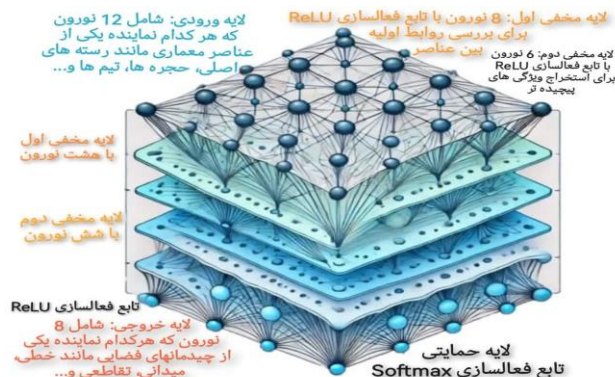
- عدم وجود راهکارهای هوشمند برای مدیریت بهره‌وری و هزینه‌ها با بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای مدیریت بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در مجتمع‌های تجاری.

روش و مواد تحقیق

هدف این تحقیق، طراحی و بهینه‌سازی چیدمان فضایی مجتمع‌های تجاری با استفاده از هوش مصنوعی، به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، است. در این راستا، از یک مدل شبکه عصبی برای تحلیل داده‌ها، با تکنیک افزایش داده مرتبط با عناصر معماری و محیطی مجتمع‌های تجاری استفاده شده است. این تحقیق از نوع کاربردی و مبتنی بر مدل‌سازی ریاضی است که در حوزه طراحی و معماری انجام می‌شود. روش اصلی این پژوهش شامل مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی چیدمان بهینه واحدهای سلولی و فضاهای معماری مجتمع‌های تجاری است. از این رو، تحقیق در دسته تحقیقات کمی قرار می‌گیرد که شامل داده‌های تاریخی است که با استفاده از تکنیک افزایش داده‌ها و با مقایسه آماری، تحلیل خوشه‌ای و غیره با توجه به داده‌های استراتژیک، به‌منظور آزمودن الگوریتم‌های هوش مصنوعی صحت سنجی شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل داده‌های مرتبط با معماری مجتمع‌های تجاری است. این داده‌ها از طریق مدل‌های معماری موجود و اصول طراحی بازارهای سنتی ایران استخراج شده‌اند. نمونه آماری این تحقیق شامل ۲۵ مجتمع تجاری به‌عنوان شروع کار و ۵۰ مجتمع با داده‌های متغیر است که با تکنیک یاد شده به هزار مورد افزایش یافته است. این مجتمع‌ها بر اساس داده‌های معماری، مکان‌یابی و ویژگی‌های فضایی (مانند تعداد حجره‌ها، نوع رسته‌ها، وجود یا عدم وجود چهارسوق و تیمچه‌ها) تعریف و با توجه به اصول معماری سنتی بازارهای ایرانی به‌دست آمده‌اند.

برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی چیدمان فضایی بهینه، از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده‌است. شبکه عصبی طراحی شده شامل سه لایه اصلی است: لایه ورودی: شامل دوازده نورون که هر کدام نماینده یکی از عناصر معماری مانند رسته‌های اصلی، حجره‌ها، تیم‌ها و... هستند. لایه‌های مخفی: دو لایه مخفی که به ترتیب شامل هشت و شش نورون هستند. این لایه‌ها روابط پیچیده بین عناصر معماری را مدل‌سازی کرده و به استخراج ویژگی‌های مهم کمک می‌کنند. لایه خروجی: شامل هشت نورون که هر کدام نماینده یکی از چیدمان‌های فضایی (مانند خطی، میدانی، تقاطع و...) هستند. لایه مخفی اول: دارای هشت نورون است. این نورون‌ها به کشف روابط اولیه بین داده‌های ورودی می‌پردازند. ورودی‌هایی مانند تعداد رسته‌های اصلی و جانبی، تعداد حجره‌ها، نوع فضاهای مرکزی، داده‌های محیطی (مثل موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی) و ابعاد کلی مجتمع به این لایه وارد می‌شوند.

نورون‌های لایه مخفی اول: نورون یک رابطه بین تعداد حجره‌ها و تعداد رسته‌های جانبی. این نورون تحلیل می‌کند که در چه شرایطی افزایش حجره‌ها می‌تواند نیاز به رسته‌های جانبی را بیشتر کند. نورون دوم تأثیر شرایط آب و هوایی بر نوع فضای سرپوشیده. برای مثال، در آب‌وهوای گرم، این نورون میزان نیاز به فضاهای سرپوشیده مانند چهارسوق را تحلیل می‌کند. نورون سوم رابطه میان اندازه مجتمع و چیدمان فضایی. مثلاً در مجتمع‌های بزرگ‌تر، نیاز به فضاهای باز یا میدانی مرکزی بیشتر است. نورون چهارم تحلیل مکان جغرافیایی و نیاز به فضای تجاری عمومی. نورون می‌تواند تشخیص دهد که در مناطق پرتردد شهری، نیاز به فضاهای عمومی مانند میدان‌ها بیشتر است. نورون پنجم تعامل میان فضای مرکزی (حیات یا میدان) و تعداد تیم‌ها. این نورون مشخص می‌کند که افزایش تیم‌ها چگونه بر نیاز به فضاهای مرکزی و باز تأثیر می‌گذارد. نورون ششم بررسی ارتباط بین نوع چیدمان فضایی (خطی، میدانی، تقاطعی) و تعداد حجره‌ها. این نورون تعیین می‌کند که در کدام نوع چیدمان تعداد حجره‌ها بهینه‌تر توزیع می‌شوند. نورون هفتم تحلیل تأثیر اندازه کلی زمین مجتمع بر نوع برنامه‌ریزی و طراحی. مثلاً، در مجتمع‌های بزرگ‌تر نیاز به تنوع در چیدمان فضایی بیشتر است. نورون هشتم ارتباط بین عناصر محیطی (مثلاً شرایط اقلیمی و نوع خاک) و ساختار فضایی و حجمی مجتمع. این نورون به تحلیل شرایط محیطی برای ایجاد طراحی‌های حجمی بهینه می‌پردازد. نمودار زیر معماری شبکه عصبی را نشان می‌دهد.



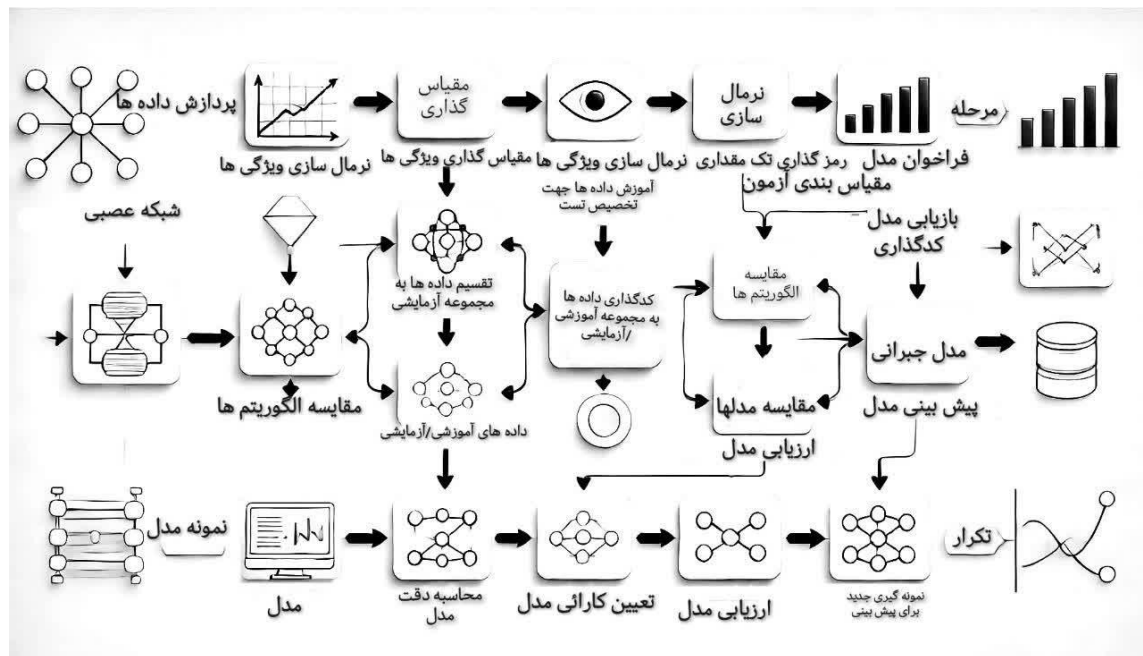
نمودار شماره ۷: معماری شبکه عصبی

لایه مخفی دوم: لایه مخفی دوم با شش نورون طراحی شده است که روابط پیچیده تری بین ویژگی‌های مختلف را شناسایی می‌کند. داده‌های خروجی از لایه مخفی اول وارد این لایه شده و الگوهای چندبعدی پیچیده تری را بررسی می‌کنند.

نورون‌های لایه مخفی دوم: نورون یک تحلیل تأثیر همزمان شرایط آب و هوایی و تعداد حجره‌ها بر نوع چیدمان. مثلاً، در مناطقی با آب‌وهوای گرم و تعداد حجره‌های زیاد، چیدمان خطی یا میدانی می‌تواند بهترین گزینه باشد. نورون دوم بررسی تعامل اندازه مجتمع و تعداد تیم‌ها بر نوع فضاهای مرکزی. این نورون مشخص می‌کند که در مجتمع‌های بزرگ تر با تعداد زیاد تیم‌ها، نیاز به میدان‌ها و حیاط‌های مرکزی بزرگ‌تر است. نورون سوم تحلیل مکان جغرافیایی و میزان تقاضای فضایی بر اساس جمعیت و نوع استفاده. این نورون مشخص می‌کند که در شهرهای بزرگ‌تر، چیدمان‌هایی با دسترسی بیشتر و ارتباط بهتر بین فضاها مناسب‌تر است. نورون چهارم شناسایی تأثیر نوع طراحی بر نحوه تعامل مشتریان با فضاهای تجاری. مثلاً در چیدمان میدانی یا تقاطعی، فضاهای تعامل اجتماعی بهتر ایجاد می‌شود. نورون پنجم بررسی داده‌های اقتصادی و نوع چیدمان فضایی برای بهبود بازدهی کسب‌وکار. این نورون تشخیص می‌دهد که با توجه به تقاضای اقتصادی در یک منطقه خاص، چیدمان بهینه برای کسب و کار چیست. نورون ششم ارتباط ویژگی‌های معماری (مثل تعداد چهار سوق و حجره‌ها) با رضایت‌مندی اجتماعی و تجاری. این نورون تعیین می‌کند که در چه شرایطی طراحی فضایی بیشترین تعاملات اجتماعی و تجاری را فراهم می‌کند.

- روش اجرای تحقیق: در ابتدا ۱۲ عنصر معماری مجتمع‌های تجاری به‌عنوان ورودی‌های مدل تعریف شده و هر عنصر مقادیری مانند وجود یا عدم وجود (صفر یا یک) را به خود اختصاص داد. مواردی مانند حجره، چهارسوق، تیم، جلوخان و... هستند. وارد کردن کتابخانه‌ها TensorFlow برای ساخت و آموزش مدل، numpy برای تولید داده‌ها، و scikit-learn برای نرمال‌سازی و تقسیم داده‌ها استفاده شد. داده‌های X شامل ۵۰ نمونه است که هر نمونه دارای ۱۲ ویژگی است. Y شامل ۸ دسته‌بندی خروجی است که به‌صورت اعداد صحیح بین صفر و هفت تولید شده است. نرمال‌سازی داده‌ها: از MinMaxScaler برای نرمال‌سازی داده‌های ورودی استفاده شده است تا مقادیر بین صفر و یک قرار گیرند. تقسیم داده‌ها، از train_test_split و مرحله بعد، طراحی مدل شبکه عصبی است. مدل ANN با سه لایه (ورودی، مخفی و خروجی) طراحی شده است. لایه ورودی شامل ۱۲ نورون است که هرکدام یکی از عناصر معماری را نمایندگی می‌کنند. لایه‌های مخفی از تابع فعال‌سازی ReLU استفاده می‌کنند و لایه خروجی نیز با تابع softmax به پیش‌بینی چیدمان نهایی کمک می‌کند. برای آموزش مدل، از داده‌ها، با تکنیک افزایش داده استفاده شد. این داده‌ها شامل مشخصات معماری مجتمع‌های تجاری و چیدمان فضایی آن‌ها به‌عنوان هدف (label) است (اطلاعات تصاویر هزار مجتمع به‌همراه اطلاعات پایه و لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی قبل از فعال شدن لایه سافت مکس آورده شده

است^۶). داده‌های ۵۰ مجتمع تجاری، با تکنیک افزایش داده به ۱۰۰۰ نمونه گسترش یافته است و سیستم توصیه خودکار در نتیجه فعالسازی تابع سافت مکس، چینش مجتمع تجاری را بصورت خودکار انجام می‌دهد^۷.



نمودار شماره ۵: مراحل اجرای تحقیق

. مدل شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا (backpropagation) آموزش داده شد تا بتواند روابط بین ورودی‌ها و چیدمان خروجی را یاد بگیرد. آموزش مدل: مدل به مدت ۵۰ دوره (epoch) آموزش داده شده و عملکرد آن با مجموعه اعتبارسنجی (بیست درصد از داده‌های آموزشی) ارزیابی می‌شود. پس از آموزش مدل، از معیار دقت (accuracy) و تابع زیان (cross-entropy loss) برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده شد. این معیارها نشان‌دهنده توانایی مدل در پیش‌بینی صحیح چیدمان فضایی بر اساس ورودی‌های معماری هستند. دقت نهایی مدل روی داده‌های آزمایشی چاپ می‌شود. پس از آموزش مدل، داده‌های جدیدی به مدل ارائه شده و چیدمان بهینه برای هر مجتمع تجاری پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که مدل ANN می‌تواند با دقت مناسبی چیدمان‌های بهینه را بر اساس ویژگی‌های معماری مجتمع‌های تجاری پیشنهاد دهد. در این تحقیق تعدادی از نرم‌افزارهای زیر برای تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی شامل: پایتون (Python): برای برنامه‌نویسی مدل شبکه عصبی و تحلیل داده‌ها، کتابخانه Keras و TensorFlow: برای طراحی، آموزش و ارزیابی مدل شبکه عصبی، کتابخانه NumPy و Pandas: برای مدیریت داده‌ها و انجام محاسبات آماری، Matplotlib و Seaborn: برای ترسیم نمودارها و تحلیل‌های گرافیکی استفاده شده است. متغیرهای مستقل: عناصر معماری مجتمع‌های تجاری شامل رسته‌ها، حجره‌ها، چهارسوق‌ها، تیم‌ها، و سایر عناصر فضایی. متغیر وابسته: چیدمان نهایی و بهینه فضایی (خطی، میدانی، تقاطعی، دیکانسترکشن و...).

⁶ <https://github.com/RTorkamon/RTorkamon/commit/99037bfb633f0bee2dbf351e82ad925b5f346af0>

⁷ <https://github.com/RTorkamon/RTorkamon/commit/d0fde871583ff72c73d4f67c8614a7010587eef8>

یافته‌های تحقیق: در ارزیابی عملکرد، با استفاده از معیارهای مختلف ارزیابی و همچنین مقایسه آن‌ها در حوزه چیدمان فضایی، مدل شبکه عصبی پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مقایسه و شبکه عصبی بالاترین دقت را به‌ویژه در شناسایی صحیح چیدمان‌های پیچیده‌تر (مانند دیکانستراکشن) از خود نشان داد. در برابر داده‌های حجیم و پیچیده عملکرد شبکه عصبی، به‌مراتب بهتر از SVM عمل کرد. دقت KNN بسته به مقدار K و ساختار داده‌ها تغییر می‌کند، در نتیجه مسائل پیچیده مانند چیدمان فضایی احتمالاً نتایج پایین‌تری نسبت به شبکه عصبی خواهد داشت.

جدول شماره ۶: ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی با سایر الگوریتم‌ها

قابلیت کاربرد	تابع زیان (Cross-Entropy)	دقت (Accuracy)	الگوریتم
بهترین عملکرد در تمامی معیارها.	0.91	92%	شبکه عصبی مصنوعی
مناسب برای مسائل ساده‌تر.	0.80	83%	درخت تصمیم
دقت کمتر در داده‌های پیچیده.	0.82	85%	ماشین بردار پشتیبان
حساس به نویز و داده‌های حجیم.	0.75	78%	KNN
مناسب برای ساده‌سازی مسائل پیچیده.	0.84	87%	الگاس سی

شبکه عصبی با استفاده از معیار دقت و تابع زیان، عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. این ساختار برای حل مسائل دسته‌بندی و در مواردی با استفاده از داده‌ها، طراحی شده‌است. پس از ساخت شبکه عصبی، داده‌ها به مدل وارد شده و آموزش داده‌می‌شوند تا چیدمان بهینه را بر اساس ورودی‌های معماری پیش‌بینی کنند.



شکل‌های شماره ۸ تا ۱۳: ۸- طرح مفهومی مجتمع تجاری با هشت چشمت مختلف به همراه پلان و نما ۹- خروجی بر اساس چشمت خطی ۱۰- چشمت مختلف به همراه پلان و نما ۱۱- طراحی داخلی با هشت چشمت همراه با نمایش سیرکولاسیون فضا و دسترسی‌ها ۱۲- نحوه ورود داده‌ها در نقاط ورودی و دو لایه مخفی با چیدمان خطی و نمایش جریان و تعامل مشتریان ۱۳- طراحی داخلی چیدمان میدان با شبیه‌سازی حرکت مشتریان در فضای داخلی همراه با لایه‌های داده‌ای جهت نمایش ورود داده‌ها و تعامل مشتریان در نقاط مختلف

خروجی ما طرح مفهومی از یک مجتمع تجاری مدرن است که بر اساس آموزه‌های بازار ایرانی و بر اساس صنعت شش، شخصی سازی شده است و در نتیجه فضای پر جنب و جوشی را برای جامعه ایرانی به نمایش گذاشته است. با استفاده از داده‌های مرتبط با عناصر معماری و محیطی، مدل توانست با دقت ۹۲٪ عملکرد خوبی را نشان داده و چیدمان نهایی را پیش‌بینی کند

این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از شبکه عصبی می‌تواند ابزاری قدرتمند برای بهینه‌سازی چیدمان‌های فضایی و ترکیبات حجمی در مجتمع‌های تجاری باشد. همچنین، با داده‌های دقیق‌تر و بیشتری، می‌توان انتظار داشت که دقت مدل بهبود یابد و چیدمان‌های پیچیده‌تری نیز پیش‌بینی شود. این روش می‌تواند به معماران و طراحان کمک کند تا با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی، طراحی‌های بهینه‌تری برای مجتمع‌های تجاری ایجاد کرده و کسب‌وکارها را تقویت کنند و رضایت مشتریان و کاربران را بهبود بخشند. خروجی نهایی شبکه عصبی، چیدمانی بهینه از فضاهای تجاری و ترکیبات حجمی است که بر اساس داده‌های محیطی، اقتصادی و معماری بهینه‌سازی شده‌اند.

این چیدمان‌ها می‌توانند به معماران و طراحان کمک کنند تا بهترین استفاده را از فضاهای موجود داشته‌باشند، همچنین این شبکه قابلیت بهینه‌سازی دارد و می‌تواند علاوه بر داده‌های واقعی آموزش داده شود، فراتر از داده‌ها آموزشی قادر به پیش‌بینی خواهد بود تا در پروژه‌های طراحی مجتمع‌های تجاری به کار رود.

بحث و نتیجه‌گیری: پس از تحلیل داده‌ها، موارد زیر می‌تواند در خروجی شبکه مورد توجه قرار گیرد. چیدمان بهینه فضایی شامل چیدمان خطی، در مناطقی با تراکم جمعیتی بالا و تقاضای زیاد برای فضای تجاری، چیدمان میدانی، در مناطقی با فضای وسیع و جمعیت متوسط، چیدمان میدانی پیشنهاد می‌شود، که می‌تواند فضای اجتماعی و تعاملات بین افراد را تقویت کند و هم‌زمان از محیط فیزیکی حداکثر بهره را ببرد. چیدمان تقاطع، در مناطقی با تردد بالا و فضای محدود، چیدمان تقاطع می‌تواند به افزایش بازدهی فضا کمک کند. چیدمان دیکانستراکشن (بی‌نظم)، برای مناطق غیر سنتی یا مناطقی که به تنوع فضایی بیشتری نیاز دارند، این نوع چیدمان که بر پایه عدم تقارن و آزادی در چیدمان است، می‌تواند کاربردی باشد.

ترکیبات حجمی و فضایی شامل: حیاط مرکزی و میدان‌ها است که در خروجی شبکه مشخص می‌شود که در مناطقی تقاضای اجتماعی و فرهنگی بالا، فضاهای پوشیده در مناطقی با شرایط آب و هوایی نامساعد یا در شهرهای پرجمعیت، شبکه پیشنهاد می‌کند که فضاهای سرپوشیده برای حفظ راحتی مشتریان و افزایش بازدهی استفاده شود. راسه‌ها در خروجی شبکه نشان می‌دهد که تعداد و نوع راسه‌های اصلی و جانبی باید بر اساس میزان تراکم و نوع کسب‌وکارها تنظیم شود. شبکه عصبی به‌طور دقیق اندازه و موقعیت حجره‌ها، تیم‌ها و چهار سوق‌ها را بر اساس داده‌های ورودی بهینه‌سازی می‌کند. خروجی‌ها ممکن است شامل موارد زیر باشند: افزایش تعداد حجره‌ها در چیدمان‌های خطی و

میدانی و به منظور افزایش فرصت‌های کسب‌وکار و تخصیص بهینه فضاهای عمومی و تیم‌ها، برای افزایش تعاملات اجتماعی و جذب مشتریان بیشتر است.

بصورت خلاصه مدل پیشنهادی با دقت ۹۲٪، نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری داشته و چیدمان‌هایی انعطاف‌پذیر، بهینه و متناسب با شرایط محیطی و اقتصادی ارائه می‌کند. الگوریتم‌های توصیه‌گر هوش مصنوعی می‌توانند با تحلیل داده‌های ورودی مبتنی بر صنعت ۶ بهترین چیش واحد‌های تجاری را پیشنهاد کنند. مدل پیشنهادی توانست بهترین الگوی چیدمان فضایی را با توجه به داده‌های محیطی و اصول معماری ایرانی پیشنهاد دهد. در قسمت نتایج کمی، آزمون واریانس نشان داد که چیدمان‌های پیشنهادی مدل در مقایسه با روش‌های سنتی به بهبود ۲۵٪ در کارایی فضایی منجر شدند ($P\text{-Value} > 0.05$)^۸. استفاده از آموزه‌های بازار ایرانی در طراحی مجتمع‌های تجاری، منجر به افزایش جذابیت فضاهای تجاری برای مشتریان می‌شود. این فرضیه به مدل این امکان را می‌دهد که ریسک‌های معماری (مانند طراحی ناکارآمد)، اقتصادی (مانند هزینه‌های غیرضروری) و اجتماعی (مانند رضایت مشتریان) را شناسایی کند. تحلیل داده‌های رفتاری مشتریان توسط سیستم‌های توصیه‌گر، موجب بهبود پیش‌بینی نیازهای کاربران و افزایش رضایت آنان می‌شود. استفاده از داده‌های رفتاری باعث بهبود ۱۸٪ در چیدمان فضایی و دسترسی کاربران به فضاها شد^۹. تأثیر فناوری‌های نوین، مانند تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا (IoT) و یادگیری ماشین، بر کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی، و بهبود تجربه کاربران را بررسی می‌کند و به بهبود پایداری مجتمع‌های تجاری و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند. چیدمان فضایی به گونه‌ای بهینه‌سازی می‌شود که جریان حرکت کاربران، دسترسی به فضاها، و جذابیت کلی فضاها بهبود یابد^{۱۰}. (موارد ذکر شده در بالا بصورت موازی و خارج از مقاله انجام شده و جهت جلوگیری از اطاله کلام، آورده نشده و فقط به کلیات آن رفرنس داده شده است).

تأیید فرضیه‌ها: تمامی فرضیه‌های اصلی و فرعی تأیید شدند. در مطالعات بشماری (هر چند کاملاً متفاوت با موضوع ما) این موضوعات بررسی و تأیید شده بود و شاید کمتر به طرح فرضیه در این تحقیق نیاز بود. مدل پیشنهادی توانست به‌طور مؤثر در بهبود طراحی و مدیریت ریسک مؤثر باشد.

پیشنهادهای مربوط به داده‌های محیطی: شبکه بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه، طراحی بهینه‌ای برای سقف‌ها و فضاهای سرپوشیده ارائه می‌دهد. مثلاً در مناطق گرم، فضاهای باز و حیاط‌های مرکزی با سایه‌بان بیشتر پیشنهاد می‌شود. همچنین خروجی شبکه بر اساس مکان جغرافیایی، مکان‌های بهینه برای چیدمان فضاهای تجاری را با توجه به شرایط جغرافیایی (مانند نزدیکی به جاده‌ها یا مراکز شهری) پیشنهاد می‌دهد. شبکه عصبی با تحلیل داده‌های اقتصادی، چیدمانی را پیشنهاد می‌دهد که به حداکثر سوددهی فضاهای تجاری منجر شود. مثلاً در مناطقی که هزینه زمین بالاست، استفاده از فضاهای چندمنظوره و چندطبقه می‌تواند به بهبود بهره‌وری کمک کند. هر چند مدل شبکه عصبی توانست چیدمان‌های

^۸ <https://github.com/RTorkamon/RTorkamon/commit/1ea588170001833533ab72a8ae558280e42bdfb9>

^۹ <https://github.com/RTorkamon/RTorkamon/commit/b1c00417ed32a57a112419917f34f8478d9209f0>

^{۱۰} <https://github.com/RTorkamon/RTorkamon/commit/5e12d72faad0e039e63c8451ef93926460d6fae0>

فضایی را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند، لکن برای تحقیقات آتی و برای بهبود بیشتر مدل و دقت در پیش‌بینی‌ها، می‌توان از تکنیک‌هایی مانند: تنظیم شبکه (Hyperparameter Tuning)، افزایش عمق شبکه (Deeper Networks)، داده‌های واقعی و بزرگ‌تر برای آموزش مدل استفاده کرد. پیاده‌سازی مدل‌های پیچیده‌تر با اضافه کردن لایه‌های بیشتری به شبکه عصبی یا استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی پیشرفته‌تر می‌تواند مدل را بهبود بخشد. ترکیب هوش مصنوعی با شبیه‌سازی معماری با استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی معماری و هوش مصنوعی به‌طور همزمان می‌تواند منجر به نتایج بهتری در طراحی و مدیریت فضاهاى تجارى گردد.

از جمله محدودیت‌های این تحقیق، استفاده از تکنیک افزایش داده‌ها است. نیاز به داده‌های واقعی از پروژه‌های معماری و طراحی شهری، همچنین استفاده از داده‌های محیطی واقعی (مانند شرایط اقتصادی و اجتماعی) می‌تواند نتایج دقیق‌تری ارائه دهد که در این تحقیق به دلیل شرایط خاص، برخی از داده‌ها لحاظ نشده است.

References

- Akinosho, T.D.; Oyedele, L.O.; Bilal, M.; Ajayi, A.O.; Delgado, M.D.; Akinade, O.O.; Ahmed, A.A. Deep Learning in the Construction Industry: A Review of Present Status and Future Innovations. *J. Build. Eng.* **2020**, *32*, 101827.
- Almusaed, A.; Almssad, A.; Yitmen, I.; Homod, R.Z. Enhancing Student Engagement: Harnessing “AIED”’s Power in Hybrid Education—A Review Analysis. *Educ. Sci.* **2023**, *13*, 632.
- Alshaikhi, A.; Khayyat, M. An Investigation into the Impact of Artificial Intelligence on the Future of Project Management. In Proceedings of the 2021 International Conference of Women in Data Science at Taif University, WiDSTaif 2021, Taif, Saudi Arabia, 30–31 March 2021.
- Al-subhi, S.H.; Papageorgiou, E.I.; Pérez, P.P.; Mahdi, G.S.S.; Acuña, L.A. Triangular Neutrosophic Cognitive Map for Multistage Sequential Decision-Making Problems. *Int. J. Fuzzy Syst.* **2021**, *23*, 657–679.
- Amer, F.; Jung, Y.; Golparvar-Fard, M. Transformer Machine Learning Language Model for Auto-Alignment of Long-Term and Short-Term Plans in Construction. *Autom. Constr.* **2021**, *132*, 103929.
- Auth, G.; Johnk, J.; Wiecha, D.A. A Conceptual Framework for Applying Artificial Intelligence in Project Management. In Proceedings of the 2021 IEEE 23rd Conference on Business Informatics, CBI 2021—Main Papers, Bolzano, Italy, 1–3 September 2021; Volume 1, pp. 161–170.
- Bento, S.; Pereira, L.; Gonçalves, R.; Dias, Á.; da Costa, R.L. Artificial Intelligence in Project Management: Systematic Literature Review. *Int. J. Technol. Intell. Plan.* **2022**, *13*, 143–163.
- Breque, M.; De Nul, L.; Petrides, A.; European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. In Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry; European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Luxembourg, 2021; ISBN 9789276253082.
- Ćirić, D.; Bērziša, S. Use of Chatbots in Project Management. *Commun. Comput. Inf. Sci.* **2019**, *1078*, 33–43.
- Cheng, M.Y.; Cao, M.T.; Herianto, J.G. Symbiotic Organisms Search-Optimized Deep Learning Technique for Mapping Construction Cash Flow Considering Complexity of Project. *Chaos Solitons Fractals* **2020**, *138*, 109869.
- Cheng, M.Y.; Cao, M.T.; Jaya Mendrofa, A.Y. Dynamic Feature Selection for Accurately Predicting Construction Productivity Using Symbiotic Organisms Search-Optimized Least Square Support Vector Machine. *J. Build. Eng.* **2021**, *35*, 101973.
- Customer Experience and Store Efficiency. AKSEN: Journal of Design and Creative Industry, 9 (1), halaman 17-29. <https://doi.org/10.37715/aksen.v9i1.4819>.
- Darko, A.; Chan, A.P.C.; Adabre, M.A.; Edwards, D.J.; Hosseini, M.R.; Ameyaw, E.E. Artificial Intelligence in the AEC Industry: Scientometric Analysis and Visualization of Research Activities. *Autom. Constr.* **2020**, *112*, 103081.
- de Oliveira, M.A.; Pacheco, A.S.; Futami, A.H.; Valentina, L.V.O.D.; Flesch, C.A. Self-Organizing Maps and Bayesian Networks in Organizational Modelling: A Case Study in Innovation Projects Management. *Syst. Res. Behav. Sci.* **2023**, *40*, 61–87.

de Oliveira, R.A.; Hipólito, G.M.B.; Pontes, R.D.F.F.; Ferreira, P.H.N.; Moreira, R.S.; Plácido, J.; Silva, Duraiswamy, A.; Selvam, G. An Ant Colony-Based Optimization Model for Resource-Leveling Problem. *Lect. Notes Civ. Eng.* **2022**, *191*, 333–342.

Dwivedi, Y.K.; Kshetri, N.; Hughes, L.; Slade, E.L.; Jeyaraj, A.; Kar, A.K.; Baabdullah, A.M.; Ebrahimzadeh, N. (2024). An Architectural Plugin: Design, Innovation and Technology in Iranian Architecture. *Universitat Politècnica de Catalunya*.

Ejjami, R., & Rahim, N. (2024). Retail 5.0: Creating Resilient and Customer-Centric Shopping Experiences through Advanced Technologies. *International Journal for Multidisciplinary Research*, *6*(4), 1-15.

Eswaran, U., Eswaran, V., Eswaran, V., & Murali, K. (2024). Empowering the factory of the future: Integrating artificial intelligence, machine learning, and IoT innovations in Industry 6.0. In *Evolution and Advances in Computing Technologies for Industry 6.0* (1st ed., pp. 21). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003503934>.

Ghansah, F.A.; Lu, W. A scientometric and content analysis are significant opportunities for digital twins for smart buildings. *Smart Sustain. Built Environ.* **2023**. ahead-of-print.

Hamada, M.A.; Abdallah, A.; Kasem, M.; Abokhalil, M. Neural Network Estimation Model to Optimize Timing and Schedule Of Software Projects. In *Proceedings of the SIST 2021—2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 28–30 April 2021.

Hofmann, P.; Jöhnk, J.; Protschky, D.; Urbach, N. Developing Purposeful AI Use Cases—A Structured Method and Its Application In Project Management. In *WI2020 Zentrale Tracks*; GITO Verlag: Berlin, Germany, 2020; pp. 33–49.

Holzmann, V.; Zitter, D.; Peshkess, S. The Expectations of Project Managers from Artificial Intelligence: A Delphi Study. *Proj. Manag. J.* **2022**, *53*, 438–455.

Hsu, H.C.; Chang, S.; Chen, C.C.; Wu, I.C. Knowledge-Based System for Resolving Design Clashes in Building Information Models. *Autom. Constr.* **2020**, *110*, 103001.

Ikudayisi, A.E.; Chan, A.P.; Darko, A.; Yomi, M.D. Integrated practices in the Architecture, Engineering, and Construction industry: Current Scope and Pathway towards Industry 5.0. *J. Build. Eng.* **2023**, *73*, 106788.

Karan, E.; Safa, M.; Suh, M.J. Use of Artificial Intelligence in a Regulated Design Environment—A Beam Design Example. *Lect. Notes Civ. Eng.* **2021**, *98*, 16–25.

Kuster, L. The Current State and Trends of Artificial Intelligence in Project Management: A Bibliometric Analysis. Master Thesis, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2021.

Makaula, S.; Munsamy, M.; Telukdarie, A. Impact of Artificial Intelligence in South African Construction Project Management Industry. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Sao Paulo, Brazil, 5–8 April 2021; IEOM Society International: Sao Paulo, Brazil, 2021; pp. 148–162.

Miller, G. Artificial Intelligence Project Success Factors: Moral Decision-Making with Algorithms. In *Proceedings of the 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems*, Sofia, Bulgaria, 26 September 2021; pp. 379–390.

Minerva, et al (2024). Elements of Retail Store Interior Design: A Qualitative Study on Enhancing

Oliveira, B.A.S.; De Faria Neto, A.P.; Fernandino, R.M.A.; Carvalho, R.F.; Fernandes, A.L.; Guimaraes, F.G. Automated Monitoring Of Construction Sites of Electric Power Substations Using Deep Learning. *IEEE Access* **2021**, *9*, 19195–19207.

Relich, M.; Nielsen, I. Estimating Production and Warranty Cost at the Early Stage of a New Product Development Project. *IFAC-PapersOnLine* **2021**, *54*, 1092–1097.

Ruiz, J.G.; Torres, J.M.; Crespo, R.G. The Application of Artificial Intelligence in Project Management Research: A Review. *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.* **2021**, *6*, 54–66.

Senjak Pejić, M. et al. (2023). Improving construction projects and reducing risk by using artificial intelligence *Social informatics journal*, 2(1), 33-40.

Subbiah, P., Tyagi, A. K., & Mazumdar, B. D. (2024). The future of manufacturing and artificial intelligence: Industry 6.0 and beyond. In *Industry 4.0, Smart Manufacturing, and Industrial Engineering* (pp. 16). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003473886>.

Taboada, I.; Daneshpajouh, A.; Toledo, N.; de Vass, T. Artificial Intelligence Enabled Project Management: A Systematic Literature Review. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 5014.

Wu, C.; Li, X.; Guo, Y.; Wang, J.; Ren, Z.; Wang, M.; Yang, Z. Natural Language Processing for Smart Construction: Current Status In addition, Future Directions. *Autom. Constr.* **2022**, *134*, 104059.

Xiong, Z.; Gan, X.; Li, Y.; Ding, D.; Geng, X.; Gao, Y. Application of Smart Substation Site Management System Based on 3D Digitization. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *1983*, 012086.