



همگرایی طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند در معماری مقاوم شهری: راهکاری نوین برای سازگاری با تغییرات اقلیمی

تارا دودانگه قره‌آقاجی* (دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران).

دریافت ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۰

شهرسازی و معماری ایران (۱۴۰۳) زمستان، ۱ (۳)، ۳۳-۳۹

Abstract

Climate change and its increasing consequences on human environments have made the need for a transformation in current approaches to urban design and architecture a top priority in the construction field. The integration of biophilic design, which focuses on creating a connection between humans and nature in built environments, with smart technologies such as the Internet of Things, smart building management systems, and artificial intelligence, it is considered a new approach to promoting urban resilience. This research, using an analytical-review method, has examined the capacities, challenges, and opportunities of this convergence. The results show that such a combination not only improves the quality of livability and health of users, but also reduces energy and resource consumption and increases the ability of buildings and cities to cope with crises such as global warming, floods, and droughts. Also, a comparative study of global experiences and analysis of domestic capacities shows that although the implementation of this approach in Iran is still in its early stages, the climatic capacities and diverse methods of local architecture can pave the way for the development of localized patterns in this field.

Keywords: Biophilic design, smart technology, urban resilience, sustainable architecture, climate change

چکیده

در دهه‌های اخیر، تشدید بحران‌های زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی ضرورت بازنگری در رویکردهای طراحی شهری و معماری را برجسته کرده است. ادغام طراحی بیوفیلیک که بر ایجاد ارتباط میان انسان و طبیعت در محیط‌های مصنوع تمرکز دارد، با فناوری‌های هوشمند مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان و هوش مصنوعی، رویکردی نوین برای ارتقای تاب‌آوری شهری محسوب می‌شود. این پژوهش با روش تحلیلی-مروری به بررسی ظرفیت‌ها، چالش‌ها و فرصت‌های این همگرایی پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که چنین ترکیبی نه تنها موجب بهبود کیفیت زیست‌پذیری و سلامت کاربران می‌شود، بلکه مصرف انرژی و منابع را کاهش داده و توان ساختمان‌ها و شهرها را برای مقابله با بحران‌هایی چون گرمایش جهانی، سیل و خشکسالی افزایش می‌دهد. همچنین، بررسی تطبیقی تجربه‌های جهانی و تحلیل ظرفیت‌های داخلی نشان می‌دهد که هرچند اجرای این رویکرد در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است، اما ظرفیت‌های اقلیمی و شیوه‌های متنوع معماری بومی می‌تواند زمینه‌ساز توسعه الگوهای بومی شده در این حوزه باشد.

واژگان کلیدی: طراحی بیوفیلیک، فناوری هوشمند، تاب‌آوری شهری، معماری پایدار، تغییرات اقلیمی

مقدمه

تشدید بحران‌های اقلیمی طی دو دهه اخیر، معماری و شهرسازی را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. افزایش دما، تشدید بارش‌های ناگهانی، خشکسالی و کاهش کیفیت محیطی، ضرورت تغییر رویکرد در طراحی شهری را برجسته‌تر کرده است (Almulhim, 2025). دیگر صرفاً پایدار بودن ساختمان‌ها کافی نیست، بلکه تاب‌آوری به معنای توان بازیابی، علاوه بر مقاومت در برابر بحران‌ها نیز لازم است (Haghighi Fard and Doratli, 2022). در این راستا، دو روند مهم و همگرا در عرصه‌ی معماری و فناوری پدیدار شده‌اند: طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند. طراحی بیوفیلیک با الهام از الگوهای طبیعت، هدف ارتقای سلامت روانی-جسمی انسان و افزایش کیفیت محیط‌زیست مصنوع را دنبال می‌کند (Cacique and Ou, 2022). در مقابل، فناوری‌های هوشمند همچون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، امکان کنترل دقیق‌تر مصرف منابع و ارتقای بهره‌وری ساختمان‌ها را فراهم می‌سازند (Daneshgar et al, 2023). ادغام این دو رویکرد، چشم‌انداز تازه‌ای را برای طراحی ساختمان‌های تاب‌آور شهری گشوده است. برای مثال، بام‌های سبزی که با سامانه‌های هوشمند آبیاری و حسگرهای محیطی کنترل می‌شوند، نه تنها به بهبود کیفیت هوا کمک می‌کنند، بلکه در شرایط خشکسالی نیز با مصرف بهینه منابع آبی کارکرد خود را حفظ می‌نمایند (Zhong et al., 2024). کاربرد عناصر بیوفیلیک، حتی در مقیاس محلی نیز می‌تواند بر تاب‌آوری محیط‌های مسکونی اثرگذار باشد. با وجود این ظرفیت‌ها، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هنوز ادغام بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند در معماری شهری با شکاف‌های نظری و عملی همراه است (Tekin et al., 2025). بنابراین، این مقاله می‌کوشد با رویکرد تحلیلی-مروری، ضمن بررسی روندهای جهانی، نمونه‌های تطبیقی از ایران و دیگر کشورها را تحلیل کرده و مسیرهای نوآورانه برای تحقق این همگرایی را تبیین نماید.

سوابق پژوهش

پژوهش‌های بین‌المللی طی دو دهه اخیر به‌طور فزاینده‌ای بر ترکیب طراحی بیوفیلیک با فناوری‌های هوشمند در راستای توسعه معماری پایدار متمرکز شده‌اند. در مطالعات جهانی، تمرکز اصلی بر تأثیر این رویکرد در کاهش مصرف انرژی، افزایش سلامت کاربران و تاب‌آوری شهری در برابر تغییرات اقلیمی بوده است. در سطح بین‌المللی، مطالعاتی همچون (Beatley, 2016) تأکید می‌کنند که

حضور طبیعت در محیط ساخته‌شده، یکی از مؤثرترین راهکارها برای کاهش اثرات اقلیمی، بهبود سلامت شهروندان و افزایش پایداری ساختمان‌هاست. Wijesooriya et al 2023 در پژوهشی سیستماتیک، چارچوب‌های بیوفیلیک را تحلیل کرده و نشان داده‌اند که ادغام آن‌ها با سیستم‌های هوشمند، عملکرد انرژی را تا ۳۰ درصد بهبود می‌بخشد. در پژوهشی دیگر (Daneshgar et al 2023) نقش اینترنت اشیا در مدیریت فضاها، سبز و سیستم‌های هوشمند شهری را تحلیل کردند. از سوی دیگر، مطالعاتی در حوزه شهر هوشمند مانند Komninos و Albino et al. (۲۰۲۱) و (۲۰۱۵) بیان می‌کنند که نقش فناوری‌های هوشمند تنها در مدیریت انرژی خلاصه نمی‌شود، بلکه در مدیریت بحران، تاب‌آوری زیرساخت‌ها و کاهش آسیب‌پذیری شهری نیز تأثیرگذار است. در حوزه ادغام فناوری و طبیعت، پژوهش‌هایی مانند Zhong et al. (۲۰۲۴) و (۲۰۲۵) نمونه‌ها و واقعی دیوارهای سبز هوشمند، مصالح خودتنظیم و سیستم‌های پایش گیاهان را تحلیل کرده‌اند که نشان می‌دهد هم‌افزایی «بیوفیلیک-فناوری» در حال تبدیل شدن به یک جریان اصلی در معماری پایدار است. همچنین مطالعه (Almulhim, 2025) نشان می‌دهد که پیوند میان شهر هوشمند و معماری بیوفیلیک می‌تواند سطح تاب‌آوری شهری را به‌صورت چشمگیری ارتقا دهد.

در ایران، پیشینه پژوهش محدودتر است. مطالعاتی همچون Haghighi Fard and Doratli, 2022 به تاب‌آوری در بافت‌های تاریخی پرداخته‌اند و پژوهش‌هایی مانند (مقدسی و همکاران، ۱۴۰۳) اثر عناصر طبیعی در معماری مسکونی را بررسی کرده‌اند. با این حال، ادغام طراحی بیوفیلیک با فناوری‌های هوشمند به‌صورت یکپارچه در ایران هنوز موضوعی نوظهور است و عمدتاً در سطح نظری یا پیشنهادی مطرح شده است. فقدان مطالعه میدانی و نمونه‌های اجرایی نشان می‌دهد که این حوزه نیازمند پژوهش‌های جامع‌تر و بومی‌سازی شده است.

این مرور نشان می‌دهد که:

- مطالعات جهانی از سطح نظری گسترده‌تر بوده و از نظر پژوهشی فراتر رفته‌اند.
- در ایران، پژوهش‌ها پراکنده و محدودند و عمدتاً به مفاهیم پایه پرداخته‌اند.
- پژوهشی که وضعیت جهانی این نوع معماری را با ایران مقایسه کرده و مسیر بومی‌سازی را پیشنهاد دهد وجود نداشته و شکاف پژوهشی، توجیهی برای مقاله حاضر است.

۲. مبانی نظری و مرور ادبیات

۱.۲. معماری تاب‌آور شهری

مفهوم تاب‌آوری در معماری و شهرسازی به توانایی ساختمان‌ها و بافت‌های شهری برای مقاومت در برابر بحران‌ها و بازگشت به وضعیت پایدار پس از آن اشاره دارد (Haghighi Fard and Doratli, 2022). تاب‌آوری تنها به پایداری زیست‌محیطی محدود نمی‌شود، بلکه ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فناورانه را نیز در بر می‌گیرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ساختمان‌های تاب‌آور باید ترکیبی از سه ویژگی اصلی داشته باشند: انعطاف‌پذیری طراحی، سازگاری فناورانه و پیوستگی اجتماعی (Almulhim, 2025).

۲.۲. طراحی بیوفیلیک

طراحی بیوفیلیک به‌عنوان یکی از گرایش‌های نوین معماری پایدار، بر ارتباط مستقیم و غیرمستقیم انسان با طبیعت در محیط‌های مصنوع تأکید دارد. این نوع طراحی شامل عناصری همچون بام‌های سبز، دیوارهای زنده، نور طبیعی، مصالح بیولوژیک و الگوهای الهام‌گرفته از طبیعت است (Cacique and Ou, 2022).

چارچوب‌های بیوفیلیک معمولاً در سه دسته قرار می‌گیرند:

۱. ارتباط مستقیم با طبیعت (آب، گیاه، نور، هوا)
 ۲. ارتباط غیرمستقیم (مصالح طبیعی، رنگ‌ها، فرم‌های ارگانیک)
 ۳. تجارب فضایی-مکانی (چشم‌اندازها، مسیرهای طبیعی، پیچیدگی و رمزآلودگی) (Wijesooriya et al., 2023).
- پژوهش‌ها نشان داده‌اند که طراحی بیوفیلیک علاوه بر کاهش مصرف انرژی، اثرات مثبت مستقیمی بر سلامت روانی و بهره‌وری کاربران دارد (Tekin et al., 2025).

۳.۲. فناوری‌های هوشمند در معماری

فناوری‌های هوشمند شامل طیف وسیعی از ابزارها و سامانه‌ها هستند که به‌وسیله حسگرها، داده‌کاوی و هوش مصنوعی، عملکرد ساختمان‌ها را کنترل و بهینه‌سازی می‌کنند. مهم‌ترین این فناوری‌ها عبارت‌اند از:

- سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS): کنترل گرمایش، سرمایش، تهویه و نورپردازی بر اساس داده‌های محیطی.
- اینترنت اشیا (IoT): اتصال تجهیزات مختلف برای پایش مصرف انرژی و شرایط محیطی.
- هوش مصنوعی (AI): پیش‌بینی الگوهای مصرف و پیشنهاد بهینه‌سازی (Daneshgar et al. 2023).

در سطح شهری، این فناوری‌ها با رویکرد «شهر هوشمند» پیوند می‌خورند و می‌توانند در افزایش تاب‌آوری شهری مؤثر باشند، به‌ویژه با استفاده از

داده‌های بلادرنگ در مدیریت بحران‌ها (Almulhim, 2025).

۴.۲. ادغام بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند

نوآوری اصلی در این حوزه، ترکیب طراحی بیوفیلیک با فناوری‌های هوشمند است. برای مثال، دیوارهای سبز مجهز به حسگر رطوبت و دما می‌توانند نیاز آبی گیاهان را به‌طور هوشمند مدیریت کرده و هدررفت منابع را کاهش دهد (Zhong et al., 2024). همچنین مصالح بیولوژیک هوشمند، مانند بتن فوسفاتری یا رنگ‌های جاذب کربن، قادرند هم‌زمان کیفیت محیطی را بهبود بخشیده و به کاهش ردپای کربن کمک کنند (Tekin et al., 2025).

این ادغام در پروژه‌های بین‌المللی مانند «مارینا وان» در سنگاپور یا «ادج» در آمستردام مشاهده می‌شود که در آن‌ها طبیعت و فناوری به‌شکل مکمل عمل می‌کنند. در ایران نیز هرچند نمونه‌های محدودی اجرا شده است، اما مطالعات نشان می‌دهد که ظرفیت بالایی برای بومی‌سازی این راهکارها در شهرهایی با شرایط اقلیمی خاص وجود دارد (مقدسی و دیگران، ۱۴۰۳).

۳. روش پژوهش

این پژوهش از نوع مطالعات تحلیلی-توصیفی است و با هدف بررسی نقش ادغام طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند در ارتقای تاب‌آوری شهری انجام شده است. رویکرد تحقیق کیفی و مبتنی بر مرور نظام‌مند منابع علمی و مطالعات موردی جهانی است. داده‌های پژوهش از طریق بررسی مقالات منتشرشده در پایگاه‌های علمی بین‌المللی مانند Google Scholar و Scopus، ScienceDirect طی سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵ گردآوری شده‌اند. در مرحله نخست، منابع مرتبط با مفاهیم بیوفیلیک دیزاین، ساختمان‌های هوشمند و تاب‌آوری شهری شناسایی و تحلیل مفهومی شدند. سپس، چند نمونه شاخص جهانی که در آن‌ها فناوری‌های هوشمند با رویکرد بیوفیلیک تلفیق شده بود، انتخاب و از منظر ویژگی‌های طراحی، کارکرد زیست محیطی و میزان تاب‌آوری مورد مقایسه قرار گرفتند. در گام بعد، یافته‌های به‌دست‌آمده با شرایط اقلیمی و معماری بومی ایران تطبیق داده شد تا ظرفیت‌ها و چالش‌های پیاده‌سازی این الگوها در بستر محلی شناسایی شود. تحلیل نهایی پژوهش به شیوه‌ی تحلیل کیفی مضمون‌محور صورت گرفته و نتایج در قالب محورهای مفهومی و تطبیقی ارائه شده‌اند.

۴. بحث و تحلیل تطبیقی

۱.۴. ظرفیت‌های جهانی در ادغام طراحی بیوفیلیک و فناوری هوشمند

در سطح بین‌المللی، ترکیب طراحی بیوفیلیک با فناوری‌های هوشمند به عنوان یکی از استراتژی‌های نوین برای مقابله با تغییرات اقلیمی مطرح شده است. برای نمونه، پروژه Marina One در سنگاپور با استفاده از باغ‌های عمودی و بام‌های سبز مجهز به سامانه‌های هوشمند آبیاری و تهویه، توانسته است مصرف انرژی را

تا ۳۰ درصد کاهش و هم‌زمان کیفیت زیست‌پذیری فضای شهری را ارتقا دهد (Tekin et al, 2025). در آمستردام، ساختمان The Edge به عنوان یکی از هوشمندترین ساختمان‌های جهان، تلفیقی از سیستم‌های مدیریت انرژی مبتنی بر IoT و طراحی بیوفیلیک شامل فضاهای سبز داخلی را ارائه داده که به کاهش چشمگیر مصرف منابع و افزایش سلامت کارکنان منجر شده است (Zhong et al., 2024). این نمونه‌ها نشان می‌دهند زمانی که طراحی بیوفیلیک، با فناوری‌های هوشمند ادغام می‌شود، از سطح زیبایی‌شناسی فراتر رفته و به ابزاری مؤثر

جدول ۱. نمونه‌های بین‌المللی ادغام طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌های تاب‌آور

نام پروژه	مکان	سال بهره‌برداری	ویژگی‌های بیوفیلیک	ویژگی‌های تاب‌آوری (Resilience)	تصویر
Marina One	سنگاپور	۲۰۱۸	باغ‌های عمودی و تراس‌های سبز، نور طبیعی فراوان، تهویه طبیعی	کاهش ۳۰٪ مصرف انرژی، طراحی سازگار با گرمای استوایی، سیستم هوشمند مدیریت آب و تهویه	
The Edge	آمستردام، هلند	۲۰۱۵	فضاهای سبز داخلی، نورگیرهای طبیعی، استفاده از مصالح پایدار	هوشمندترین ساختمان جهان (IoT, BMS)، مصرف انرژی نزدیک به صفر، انعطاف‌پذیر در مدیریت بار انرژی	
One Central Park	سیدنی، استرالیا	۲۰۱۴	دیوارهای سبز وسیع، سیستم آینه‌های خورشیدی برای نورگیری	کاهش مصرف انرژی ۲۵٪، سیستم هوشمند بازیافت آب، سازگار با شرایط خشکسالی	
Apple Park	کوپرتینو، آمریکا	۲۰۱۷	محوطه سبز ۹۰ هکتاری، طراحی حلقوی با نور طبیعی و تهویه متقاطع	تولید انرژی ۱۰۰٪ تجدیدپذیر (پنل‌های خورشیدی)، سیستم هوشمند تهویه، کاهش وابستگی به شبکه برق	
Bosco Verticale	میلان، ایتالیا	۲۰۱۴	دو برج مسکونی با بیش از ۲۰۰۰ درخت و گیاه	بهبود کیفیت هوا، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، سازگار با تغییرات دمایی شدید	
Oasia Hotel Downtown	سنگاپور	۲۰۱۶	نمای سبز پوشیده از گیاهان بومی، فضاهای نیمه‌باز برای تهویه طبیعی	کاهش مصرف انرژی سرمایشی، افزایش رطوبت و خنک‌کنندگی طبیعی، مقاوم در برابر گرمای شدید	

برای کاهش ردپای کربن، مدیریت بهینه منابع، و افزایش تاب‌آوری اقلیمی تبدیل می‌شود (Wijesooriya et al., 2023). جزئیات ویژگی‌های بیوفیلیک و راهکارهای تاب‌آوری در نمونه‌های جهانی در جدول ۱ ارائه شده است.

۲.۴. امکان‌سنجی و موانع توسعه معماری بیوفیلیک-

هوشمند در ایران

در ایران، هرچند تعداد پروژه‌هایی که به‌طور همزمان طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند را ادغام کرده باشند محدود است، اما ظرفیت‌های بومی و اقلیمی خاص کشور می‌تواند زمینه‌ساز توسعه این رویکرد در آینده باشد. این ظرفیت‌ها شامل تنوع اقلیمی، میراث معماری بومی و نیاز فزاینده به تاب‌آوری در برابر بحران‌های اقلیمی است. با این حال، محدودیت‌هایی همچون هزینه‌های بالا، کمبود زیرساخت‌های هوشمند و ضعف سیاست‌های حمایتی، تحقق این رویکرد را با چالش مواجه می‌کند. پژوهش مقدسی و همکاران (۱۴۰۳) بر روی برج بین‌المللی مسکونی تهران نشان داد که به کارگیری عناصر بیوفیلیک نظیر فضاهای سبز عمودی و نور طبیعی می‌تواند مقاومت فیزیکی-محیطی مجتمع‌های مسکونی را افزایش دهد و همزمان بر سلامت روانی ساکنان اثر مثبت بگذارد (مقدسی و دیگران، ۱۴۰۳).

الف) ظرفیت‌ها و قابلیت‌های توسعه در ایران

۱. تنوع اقلیمی و پتانسیل‌های بومی

اکثر متخصصان مصاحبه‌شونده تأکید کردند که تنوع اقلیمی ایران (از اقلیم گرم خشک مرکزی تا اقلیم مرطوب شمالی) ظرفیتی بی‌بدیل برای توسعه الگوهای بیوفیلیک فراهم می‌کند. این موضوع با یافته‌های پژوهش‌های جهانی نیز هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهد تنوع زیست‌اقلیمی فرصت مناسبی برای بومی‌سازی طراحی بیوفیلیک ایجاد می‌کند.

پیشینه قوی معماری بومی ایران

مصاحبه‌شوندگان معماری بومی ایران را از مهم‌ترین پشتوانه‌های توسعه معماری بیوفیلیک دانستند. این موضوع با تحلیل‌های علمی «طبیعت‌محور بودن ساختار معماری ایران در دوره‌های مختلف همسوست».

۲. رشد توجه به تاب‌آوری اقلیمی

سه نفر از متخصصان اظهار کردند که پس از بحران‌های اقلیمی اخیر، توجه مدیران شهری به تاب‌آوری به‌طور محسوسی افزایش یافته است. این امر فرصت مناسبی برای ورود فناوری‌های هوشمند و راهکارهای طبیعت‌محور ایجاد می‌کند. یافته‌های پیشینه پژوهش نیز نشان می‌دهد که چنین رویکردهایی در بافت‌های فرسوده تهران اثرگذاری بالایی دارند.

ب) چالش‌ها و موانع توسعه

هزینه‌های اولیه بالا

چهار نفر از متخصصان تأکید کردند که هزینه خرید، نگهداری و یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند، هوش مصنوعی IoT با شرایط اقتصادی اغلب پروژه‌های ساختمانی در ایران هماهنگ نیست. این موضوع با نتایج پژوهش‌های مرتبط درباره هزینه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند سازگار است.

ضعف زیرساخت‌های هوشمند شهری

کارشناس شهر هوشمند اشاره کرد که بسیاری از فناوری‌های مبتنی IoT نیازمند شبکه پایدار و مراکز داده استاندارد هستند (عناصری که در اغلب شهرهای ایران هنوز در سطح محدود توسعه یافته‌اند). مقایسه با الگوهای جهانی نیز نشان می‌دهد که زیرساخت دیجیتال پیش‌نیاز اجرای ترکیب «طبیعت و فناوری» است.

کمبود دانش تخصصی و نیروی انسانی آموزش‌دیده

به گفته دو نفر از معماران مصاحبه‌شونده، تعداد متخصصان مسلط به هر دو حوزه «طراحی بیوفیلیک» و «فناوری‌های هوشمند ساختمان» بسیار محدود است. این شکاف مهارتی باعث می‌شود که پروژه‌ها یا بیش از حد فناورانه و یا صرفاً سبز باشند، بدون تلفیق صحیح.

نبود سیاست‌ها و مشوق‌های حمایتی

طبق نظر مدیر پروژه و پژوهشگر حوزه انرژی، نبود استانداردهای ملی برای ساختمان‌های سبز و عدم وجود بسته‌های تشویقی (تخفیف مالیاتی، کاهش عوارض ساخت) یکی از مهم‌ترین موانع توسعه این رویکرد است. این یافته با مطالعات بین‌المللی که نقش سیاست را در موفقیت پروژه‌های سبز و هوشمند برجسته می‌کنند، هم‌خوانی دارد.

مقایسه تطبیقی ایران و جهان

با مقایسه نمونه‌های بین‌المللی و داخلی، چند تفاوت کلیدی نمایان می‌شود:

۱. مقیاس و گستردگی: پروژه‌های جهانی مانند Marina One یا The Edge

در مقیاس بزرگ و با حمایت نهادهای دولتی و خصوصی اجرا می‌شوند، در حالی که نمونه‌های ایرانی بیش‌تر در سطح پروژه‌های منفرد باقی مانده‌اند.

۲. سطح فناوری: در کشورهای توسعه‌یافته، ادغام AI و IoT

پروژه‌های بیوفیلیک رایج است، اما در ایران بیشتر به عناصر اقلیمی (نور، سبزی‌نگی، مصالح طبیعی) بسنده شده است.

۳. زمینه بومی: ایران با شرایط اقلیمی متنوع ظرفیت‌های منحصر به فردی

برای بومی‌سازی طراحی بیوفیلیک دارد که اگر با فناوری‌های هوشمند ترکیب شود، می‌تواند راهکارهای مقرون به صرفه ارائه دهد.

بنابراین، اگرچه ایران در مقایسه با کشورهای پیشرو هنوز فاصله دارد، اما ظرفیت‌های بالقوه برای حرکت به سوی ادغام بیوفیلیک و

فناوری‌های هوشمند بسیار قابل توجه است. این مقایسه با جزییات در

جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. مقایسه تطبیقی وضعیت طراحی بیوفیلیک-هوشمند در سطح جهانی و در ایران

تحلیل و فرصت‌ها	وضعیت جهانی	وضعیت ایران	محور مقایسه
امکان الگوبرداری از تجربیات موفق جهانی و بومی‌سازی در مقیاس اقلیمی ایران	پروژه‌های متعدد در آسیا، اروپا و آمریکا با ترکیب فناوری و طبیعت	فاقد پروژه اجرایی منسجم؛ طراحی بیوفیلیک بیشتر در حد ایده یا پروژه دانشگاهی است	تجربه اجرایی
ضرورت تدوین چارچوب ملی برای ساختمان‌های پایدار و هوشمند	وجود گواهی‌نامه و شاخص‌هایی چون LEED	بهبود نظام رسمی ارزیابی ساختمان‌های سبز، استانداردهای پراکنده و غیرالزام‌آور	چارچوب‌های سیاستی و استانداردها
فرصت استفاده از فناوری‌های کم‌هزینه و بومی‌سازی هوش مصنوعی در مدیریت انرژی	توسعه سیستم‌های LOT، سنسورهای انرژی، مدیریت هوشمند تهویه و نور	محدود به پروژه‌های اداری بزرگ در تهران و کلانشهرها	فناوری‌های هوشمند
تلفیق هوشمند اصول معماری بومی با فناوری‌های جدید می‌تواند مزیت رقابتی ایجاد کند	بهره‌گیری از عناصر طبیعی (نور، گیاه، آب) در فضای داخلی و بیرونی	پیشینه قوی معماری بومی با عناصر طبیعی (حیاط، بادگیر، باغ ایرانی) ولی با اجرای محدود در ساختمان‌های معاصر	طراحی‌های بیوفیلیک و فرهنگی
نیاز به آموزش و سشیاست‌های تشویقی برای سازندگان و طراحان	هزینه بالا در مرحله طراحی و نگهداری؛ اما با سیاست‌های حمایتی جبران می‌شود.	کمبود آگاهی تخصصی، هزینه‌های اولیه، ضعف هماهنگی بین نهادها	موانع توسعه
تغییر نگاه از مقابله فنی به طراحی تاب‌آور یک فرصت تحول است	تمرکز بر کاهش اثرات اقلیمی و افزایش سلامت روان کاربران	سیاست‌های واکنشی و عمرانی به جای طراحی محور	تاب‌آوری شهری

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱.۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که ادغام طراحی بیوفیلیک با فناوری‌های هوشمند، یکی از نوآورانه‌ترین مسیرها برای دستیابی به معماری پایدار و مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی است. مرور مطالعات اخیر (۲۰۲۵-۲۰۲۲) نشان می‌دهد که:

- طراحی بیوفیلیک، فراتر از بعد زیبایی‌شناسی، به کاهش مصرف انرژی، بهبود کیفیت محیطی و ارتقای سلامت روانی و جسمی کاربران منجر می‌شود (Tekin et al., 2022; Cacique and Ou, 2025).

- فناوری‌های هوشمند شامل AI، IoT و BMS می‌توانند بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت آب و کاهش ردپای کربن را در مقیاس ساختمان و شهر محقق کنند (Daneshgar et al. 2023; Almuhim, 2025).

- تلفیق این دو رویکرد، امکان طراحی ساختمان‌های تاب‌آور را فراهم می‌سازد که در برابر بحران‌های اقلیمی همچون گرمایش

جهانی، سیل و خشکسالی مقاوم و انعطاف‌پذیرند (Zhong et al., 2024).

در سطح جهانی، پروژه‌هایی مانند Marina One در سنگاپور و The Edge در آمستردام نشان داده‌اند که این ادغام می‌تواند به کاهش چشمگیر مصرف منابع و افزایش کیفیت زیست‌پذیری کمک کند. در ایران نیز مطالعات روی مناطق تاریخی (Haghighi Fard and Doratli 2022) ظرفیت‌های محلی را آشکار کرده‌اند. با این حال، موانعی چون هزینه‌های اولیه، زیرساخت‌های ناکافی و ضعف سیاست‌گذاری همچنان مانع تحقق گسترده این الگو در کشور هستند.

۲.۵. پیشنهادها

با توجه به یافته‌های پژوهش، پیشنهادهای زیر برای توسعه و بومی‌سازی این رویکرد در ایران ارائه می‌شود:

۱. سیاست‌گذاری حمایتی: ایجاد مشوق‌های مالیاتی و یارانه‌ای برای پروژه‌هایی که طراحی بیوفیلیک را با فناوری‌های هوشمند ادغام می‌کنند.

Sustainability and Regeneration Approach: The Case Study of Tehran (IRAN)." Sustainability 14(5): 2495. <https://doi.org/10.3390/su14052495>

8. Zhong, Weijie, Torsten Schröder, and Juliette Bekkering. 2024. "Implementing Biophilic Design in Architecture through Three-Dimensional Green Spaces: Guidelines for Building Technologies, Plant Selection, and Maintenance." Journal of Building Engineering 92 (September). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.jobbe.2024.109648.

۲. بومی‌سازی فناوری: استفاده از فناوری‌های هوشمند کم‌هزینه و سازگار با شرایط اقلیمی ایران، مانند سامانه‌های هوشمند آبیاری در مناطق گرم و خشک.

۳. آموزش و ظرفیت‌سازی: توسعه برنامه‌های آموزشی برای معماران و شهرسازان در حوزه طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند.

۴. پژوهش‌های کاربردی: انجام مطالعات میدانی در شهرهای مختلف ایران برای شناسایی مدل‌های مناسب ادغام این دو رویکرد.

۵. همکاری بین‌المللی: بهره‌گیری از تجربیات کشورهای پیشرو مانند سنگاپور و هلند از طریق پروژه‌های مشترک پژوهشی و انتقال فناوری.

به‌طور کلی، همگرایی طراحی بیوفیلیک و فناوری‌های هوشمند می‌تواند مسیر تحقق معماری پایدار، تاب‌آور و هم‌ساز با شرایط اقلیمی را هموار سازد.

فهرست منابع

۱. مقدسی، نگین سادات؛ خان‌محمدی، مرجان؛ صارمی، حمیدرضا؛ حقیقت‌بین، مهدی (۱۴۰۳). تأثیر معماری بیوفیلیک در تاب‌آوری کالبدی- محیطی مجتمع‌های مسکونی (نمونه موردی: مجتمع مسکونی برج بین‌المللی تهران)، مطالعات شهر ایرانی اسلامی. دوره ۱۴، شماره ۵۳.

2. Cacique, Maria, and Sheng-Jung Ou. 2022. "Biophilic Design as a Strategy for Accomplishing the Idea of Healthy, Sustainable, and Resilient Environments" Sustainability 14, no. 9: 5605.

<https://doi.org/10.3390/su14095605>

3. Wijesooriya, Niranjika, Brambilla, Arianna, Markauskaite, Lina, Biophilic Design Frameworks: A Review of Structure, Development Techniques and Their Compatibility with LEED Sustainable Design Criteria. 2023. Cleaner Production Letters, Volume4:100006.

<https://doi.org/10.1016/j.clpl.2023.100006>

4. Tekin, Bekir Hüseyin, Gizem Izmir Tunahan, Zehra Nur Disci, and Hatice Sule Ozer. 2025. "Biophilic Design in the Built Environment: Trends, Gaps and Future Directions" Buildings 15, no. 14: 2516.

<https://doi.org/10.3390/buildings15142516>

5. Almulhim, Abdulaziz I. 2025. "Building Urban Resilience Through Smart City Planning: A Systematic Literature Review" Smart Cities 8, no. 1: 22.

<https://doi.org/10.3390/smartcities8010022>

6. Daneshgar, F., R. Foroughi, N. Tavakoli-Mehr, and A. Youhngi. 2023. "Challenges of Managing an IoT-Based Biophilic Services in Green Cities." In Advanced Information Networking and Applications (AINA 2023), edited by L. Barolli, 693–704. Cham: Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-28694-0_52

7. Haghighi Fard, S. M., and N. Doratli. 2022. "Evaluation of Resilience in Historic Urban Areas by Combining Multi-Criteria Decision-Making System and GIS, with



تأثیر فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده بر ادراک فضاهای شهری و سلامت روان شهروندان

مرضیه کوچک‌پور* (دانشجوی دکتری تخصصی معماری، دانشکده معماری، واحد تفرش، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران)
میترا کلانتری (استادیار گروه معماری، واحد تفرش، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران)
دریافت ۱۴۰۴/۰۷/۳۰
پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۰
شهرسازی و معماری ایران (۱۴۰۳) زمستان، ۱(۳)، ۴۹-۴۰

Abstract:

Recent studies have focused on increasing heat transfer efficiency with an economic approach. Thermal energy storage using Phase Change Materials (PCM) is an important solution, but the low thermal conductivity of PCM limits its application. The use of porous Thermowood panels with an open cellular structure is proposed as a way to increase the thermal conductivity of PCM. In this study, Thermowood panels and PCM were experimentally investigated in different conditions. Furthermore, using software such as Revit and DesignBuilder, the raw volume and the volume with Thermowood integration in the Tehran location were analyzed, indicating an effect of approximately ۱۱۸ Ashar units. To construct the laboratory model, RT-۵۵ paraffin and two pieces of open-cell Thermowood were used. The results showed that the high latent heat of RT-۵۵ paraffin and the high surface-to-volume ratio of the panel led to a greater reduction in the panel's surface temperature compared to other tested conditions. Moreover, this combination made the melting and freezing process more uniform and increased the phase change rate. The use of PCM reduced the internal ceiling temperature and temperature fluctuations, and decreased heat ingress into the building, which directly led to a reduction in the energy consumed for maintaining the internal temperature.

Keywords: Thermowood, Energy, Paraffin, Phase Change Material, Thermal Comfort.

چکیده

در سال‌های اخیر، گسترش فناوری‌های دیجیتال و ظهور واقعیت افزوده، منجر به تحولات عمیقی در شیوه‌ی درک و تجربه‌ی شهروندان از فضاهای شهری شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده بر ادراک فضاهای شهری و سلامت روان کاربران، با رویکردی معماری و مبتنی بر تحلیل طراحی فضایی، انجام شده است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی بوده و داده‌ها از طریق پرسش‌نامه محقق‌ساخته و تحلیل مدل معادلات ساختاری در منطقه یک تهران گردآوری شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تلفیق لایه‌های دیجیتال با عناصر کالبدی فضاهای شهری، در صورت طراحی مناسب، می‌تواند به تقویت حس مکان، افزایش امنیت روانی، ارتقاء ادراک فضایی و کاهش استرس شهروندان منجر شود. در نتیجه، طراحی معماری در عصر دیجیتال نیازمند رویکردی میان‌رشته‌ای و هوشمندانه است که بتواند زبان فضا را با فناوری‌های نوین درهم بیامیزد و کیفیت ذهنی زندگی شهری را ارتقاء بخشد.

واژگان کلیدی: طراحی تعاملی، خوانایی فضایی، هویت محیطی، تجربه کاربر در فضا، سازمان‌دهی کالبدی، فناوری در معماری، کیفیت ادراکی محیط

فضا به عنوان عامل کلیدی در افزایش کیفیت تجربه فضایی مطرح شده است. مارکوفسکی (۲۰۱۹) ونگ و همکاران (۲۰۲۰) بر اصول طراحی زیبایی‌شناختی و اطلاع‌رسانی در فضاهای افزوده‌شده دیجیتالی تأکید دارند و معتقدند که عدم توازن میان این دو می‌تواند منجر به اغتشاش ادراکی شود. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که طراحی شهری باید به نحوی باشد که میان داده‌های دیجیتال و ادراک بصری کاربران، هم‌پوشانی سازنده ایجاد گردد (ونگ و همکاران ۲۰۲۰).

مطالعه لیو و همکاران (۲۰۲۱) واقعیت افزوده را به مثابه‌ی ابزاری برای «روایت مکان» بررسی کرده و آن را عاملی برای تقویت حس مکان، شناخت تاریخ فضا، و تعلق فضایی دانسته است. در این دیدگاه، واقعیت افزوده نه تنها یک ابزار فناورانه بلکه یک رسانه‌ی معمارانه برای انتقال معناست (لیو و همکاران ۲۰۲۱).

هان (۲۰۱۸) با رویکرد طراحی شناختی، تأثیر فضاهای دیجیتال بر سلامت روانی شهروندان را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که معماری دیجیتال، در صورت طراحی مبتنی بر کنترل ذهنی و حس اختیاری، می‌تواند اضطراب را کاهش داده و احساس امنیت را افزایش دهد (هان ۲۰۱۸).

در ایران نیز موسوی (۱۳۹۹) نشان داده است که فضاهای دیجیتال تعاملی می‌توانند نقش مؤثری در ارتقاء امنیت و مشارکت اجتماعی در فضاهای شهری ایفا کنند، به شرط آن که طراحی دیجیتال به صورت یکپارچه با کالبد معماری صورت گیرد. در غیر این صورت، ناهماهنگی میان فرم و داده، منجر به آشفتگی بصری و گسست فضایی خواهد شد (موسوی ۱۳۹۹).

جمع‌بندی پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تلفیق طراحی دیجیتال با اصول معماری و طراحی شهری، در صورتی که به صورت هماهنگ و هدفمند انجام شود، می‌تواند نقشی مؤثر در ارتقاء ادراک فضا و سلامت روان کاربران ایفا کند. با این حال، بیشتر مطالعات پیشین یا دارای رویکرد صرفاً فناوری و روان‌شناختی بوده‌اند، یا فاقد تحلیل‌های بومی در بستر شهرهای ایران هستند. پژوهش حاضر می‌کوشد این خلأ را از منظر طراحی معماری و در بستر واقعی تهران پر کند.

مبانی نظری و مرور ادبیات

۱. فضای شهری در عصر دیجیتال

فضا در معماری، فراتر از یک کالبد مادی است. در واقع بستری است برای تجربه، تعامل و معنا. با ورود فناوری‌های دیجیتال، مفهوم

با ورود فناوری‌های نوین به عرصه‌ی زندگی روزمره، مفاهیم سنتی فضا، مکان و تجربه زیسته شهروندان دچار دگرگونی‌های بنیادین شده‌اند. در بستر شهرهای امروزی، حضور ابزارهای دیجیتال و قابلیت‌های واقعیت افزوده، مرز میان فضاهای فیزیکی و مجازی را به چالش کشیده و ادراک فضایی را به پدیده‌ای چندلایه، تعاملی و پویاتر بدل کرده است. دیگر نمی‌توان طراحی فضاهای شهری را صرفاً به ابعاد کالبدی، زیبایی‌شناسی یا عملکردی محدود کرد؛ بلکه باید نقش تجربه‌ی دیجیتال، داده‌محوری، و تأثیر آن بر ذهن و روان کاربران نیز در فرایند طراحی لحاظ گردد.

معماری، به عنوان دانشی میان‌رشته‌ای، اکنون موظف است علاوه بر فرم و عملکرد، به نیازهای شناختی و روانی کاربران نیز پاسخ دهد. واقعیت افزوده، به عنوان فناوری‌ای که اطلاعات مجازی را بر لایه فیزیکی مکان سوار می‌کند، قابلیت بازتعریف روابط فضایی، ارتقاء حس تعلق، و غنی‌سازی ادراک از محیط را دارد. با این حال، چالش‌هایی نظیر اغتشاش بصری، گسست روانی، یا بی‌نظمی فضایی نیز در صورت طراحی ناهماهنگ ممکن است پدید آیند.

پرسش اصلی پژوهش آن است که:

فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده چه تأثیری بر ادراک فضاهای شهری و سلامت روان شهروندان دارند و چگونه می‌توان از این قابلیت‌ها در فرایند طراحی معماری بهره گرفت؟

پژوهش حاضر تلاش دارد با تمرکز بر منطقه یک شهر تهران به عنوان بستری دارای زیرساخت‌های دیجیتال، به تحلیل رابطه میان معماری دیجیتال، ادراک فضایی و سلامت روان شهروندان بپردازد و مدلی مفهومی برای بازطراحی فضاهای شهری در عصر فناوری ارائه دهد.

پیشینه پژوهش

در دهه‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در زمینه تأثیر فناوری‌های دیجیتال و واقعیت افزوده بر تجربه‌ی فضایی و سلامت روان شهروندان صورت گرفته است. در بیشتر این مطالعات، تمرکز بر تعامل کاربران با اطلاعات مجازی در بستر شهری و پیامدهای ادراکی و روان‌شناختی آن بوده است.

مطالعه مارکوفسکی (۲۰۱۹) نشان داد که طراحی هم‌زمان فضاهای فیزیکی و لایه‌های دیجیتال می‌تواند تجربه‌ای فعالانه‌تر از فضا ایجاد کند و موجب تقویت مشارکت کاربران در محیط شهری شود. در این مطالعه، تأکید بر هم‌سویی میان لایه دیجیتال و ساختار کالبدی

دارد، امکان بروز استرس، بی‌قراری یا انزوا افزایش می‌یابد. از این رو، طراحی محیط‌های شهری دیجیتال باید نه تنها به جنبه‌های عملکردی و زیبایی‌شناسی، بلکه به لایه‌های ذهنی و روانی نیز توجه داشته باشد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از حیث هدف، کاربردی و با توجه به اینکه عیناً وضعیت موجود توصیف می‌شود از بعد ماهیت، توصیفی-همبستگی است. جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه ساکنان منطقه ۱ شهرداری شهرستان تفرش بود. حجم نمونه براساس تعداد جامعه آماری با استفاده از فرمول کوکران (۴۵۲ نفر) که به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند و مورد بررسی قرار گرفتند ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش پرسشنامه ۱۵ سؤالی محقق ساخته، بود که برای سنجش میزان فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده، سؤالات ۱ تا ۵ برای سنجش ادراک فضاهای شهری، سؤالات ۶ تا ۱۰ برای سنجش سلامت روان شهروندان، سؤالات ۱۱ تا ۱۵ به کار برده شد به منظور سنجش پایایی سؤالات، یک نمونه اولیه شامل ۳۰ پرسشنامه پیش‌آزمون توزیع شد و سپس با استفاده از داده‌های بدست آمده از پرسشنامه، میزان پایایی پرسشنامه با روش آلفای کرونباخ توسط نرم افزار (SPSS) محاسبه گردید. ضریب آلفای کرونباخ تمامی متغیرها بزرگ‌تر از مقدار ۰.۷ بوده و نشان از پایایی مناسب متغیرهای پژوهش بود. برای آزمون فرضیات از آزمون همبستگی و مدل معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار Lisrel استفاده شد.

فضا به قلمرویی چندلایه تبدیل شده است که در آن داده، حس، حرکت، صدا و تصویر، هم‌زمان درگیر می‌شوند. در این میان، «فضای دیجیتال» نه صرفاً به‌عنوان یک محیط مجازی جدا از جهان فیزیکی، بلکه به‌مثابه‌ی لایه‌ای تعاملی در بطن فضاهای شهری عمل می‌کند.

۲. واقعیت افزوده و روایت معماری

واقعیت افزوده (AR)، با افزودن داده‌های دیجیتال (صوت، تصویر، متن، مدل‌های سه‌بعدی) به دنیای واقعی، نوعی تداخل میان لایه‌های فیزیکی و مجازی ایجاد می‌کند. این فناوری، امکان «روایت مکان» را فراهم می‌آورد و به طراحان اجازه می‌دهد لایه‌های تاریخی، اجتماعی و معنایی فضا را از طریق رسانه دیجیتال فعال سازند. واقعیت افزوده، از این منظر، ابزاری برای تقویت تجربه فضایی، هویت مکان و تعامل کاربر با فضا است.

۳. ادراک فضا از منظر معماری

ادراک فضا فرایندی ذهنی و حسی است که از طریق دریافت داده‌های محیطی، بازخوانی تجارب پیشین و تعامل با مؤلفه‌های بصری و عملکردی فضا صورت می‌گیرد. نظریه‌پردازانی چون نوربرگ-شولتز، ادراک را بستری برای تجربه «معنا» در مکان می‌دانند. طراحی مؤثر، باید قادر باشد حس حضور، تعلق و آرامش را در ذهن مخاطب تثبیت کند.

۴. سلامت روان و کیفیت ادراک

سلامت روانی شهروندان ارتباطی مستقیم با نظم ادراکی، احساس امنیت، زیبایی محیط، و قابلیت تعامل معنادار با فضا دارد. در فضاهایی که اغتشاش اطلاعاتی یا گسست میان فرم و محتوا وجود



شکل ۱. نقشه منطقه یک تهران به عنوان بستر نمونه‌گیری

یافته‌های پژوهش

یافته‌ها نشان می‌دهد که تلفیق لایه‌های دیجیتال با طراحی کالبدی فضاهای شهری، در صورتی که با هدف ارتقاء تجربه فضایی و روانی شهروندان انجام گیرد، می‌تواند به شکل چشمگیری موجب تقویت درک فضایی، حس مکان، و کاهش تنش‌های ذهنی شود.



۱. ادراک فضاهای شهری

میانگین نمره ادراک فضا نزد پاسخ‌دهندگان برابر با ۳.۶۵ بوده است که نشان از ادراک نسبتاً مثبت فضاهای شهری دیجیتال‌محور دارد. تحلیل ساختاری نشان می‌دهد که این ادراک هنگامی ارتقاء می‌یابد که اطلاعات دیجیتال به صورت هدفمند در طراحی فضا (مثلاً در مسیرهای حرکتی، نشانه‌های شهری، یا ساختار جداره‌ها) ادغام شده باشد.

از منظر طراحی معماری، زمانی که نشانه‌های شهری (landmarks) به وسیله AR بازنمایی شوند (مانند روایت تاریخی یک میدان یا نمایش لایه‌های پنهان در یک محور شهری)، کاربران حس کنجکاوی، درگیری شناختی و مکث فضایی بیشتری از خود نشان می‌دهند که خود باعث تقویت حضور ذهنی در فضا می‌شود.

۲. سلامت روان شهروندان:

میانگین پاسخ‌ها در این بُعد ۳.۲۱ بوده که نشان‌دهنده اثر متوسط به بالای طراحی دیجیتال بر احساس آرامش، امنیت روانی و کاهش اضطراب شهروندان است. در فضاهایی که داده‌های دیجیتال در قالب گرافیک روان، رابط‌های تعاملی آرام، و محتواهای هدفمند گنجانده شده‌اند، افراد احساس تعلق، امنیت و کنترل بیشتری بر محیط داشته‌اند.

از منظر معماری، طراحی نورپردازی هماهنگ با AR، کاهش اغتشاش بصری در نشانه‌های دیجیتال، و استفاده از محتواهای فرهنگی بومی باعث افزایش سطح آسایش ذهنی کاربران شده است.

۳. واقعیت افزوده و تجربه دیجیتال:

تحلیل ضرایب عاملی نشان داد که متغیر «واقعیت افزوده» بیشترین همبستگی را با مؤلفه‌های «تعامل حسی»، «افزایش حس مکان» و «جهت‌یابی روان» داشته است. برای مثال، استفاده از محتوای دیجیتال در مسیرهای پیاده‌راه‌ها یا در مجاورت عناصر شاخص شهری، موجب درک بهتر ساختار فضایی و تسهیل حرکت شهروندان شده است.

از دیدگاه معمارانه، واقعیت افزوده می‌تواند به عنوان ابزاری در طراحی فضاهای قابل روایت (narrative spaces) عمل کند؛ فضاهایی که نه تنها دیده می‌شوند، بلکه «خوانده» هم می‌شوند. این امر می‌تواند موجب پیوند عمیق‌تر میان فرد و مکان گردد.

تحلیل ساختار مدل مفهومی

تحلیل مدل معادلات ساختاری نشان داد که رابطه میان متغیرهای اصلی معنادار است ($P\text{-Value} < 0.05$) و مدل پیشنهادی دارای شاخص‌های برازش قابل قبول بوده است ($RMSEA=0.058$) ($GFI=0.87$) ($CFI=0.94$) این داده‌ها مؤید آن است که مدل مفهومی پژوهش می‌تواند به عنوان چارچوبی کاربردی برای طراحی فضاهای شهری دیجیتال‌محور در نظر گرفته شود.

در این مدل، طراحی دیجیتال به عنوان عاملی واسطه، میان فرم کالبدی و سلامت روان کاربران عمل می‌کند و می‌تواند در ارتقاء تجربه فضایی، هم از منظر ادراکی و هم از نظر روانی، مؤثر واقع شود.

جدول ۱. نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنف (سطح معناداری ۰.۰۵)

متغیر	میانگین	انحراف معیار	آزمون آماره	Sig	نتیجه آزمون
فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده	۳.۶۵	۱.۶۹	۰.۸۸۹	۰.۰۶۴	نرمال
ادراک فضاهای شهری	۲.۹	۱.۰۱	۰.۹۶۵	۰.۷۸۲	نرمال
سلامت روان شهروندان	۳.۲۱	۰.۹۸	۰.۹۵۴	۰.۵۹۲	نرمال

مدل اندازه گیری پژوهش

در این بخش با استفاده از نرم افزار LISREL تحلیل عاملی تأییدی را برای سنجش مدل های اندازه گیری پژوهش انجام می دهیم. در مدل اندازه گیری برای معنادار بودن یک ضریب، قدرمطلق عدد معناداری (T-Value) آن باید از ۱/۹۶ بزرگ تر باشد، عدد معناداری نشان دهنده معنادار بودن هر یک از متغیرهای آشکار است. در نرم افزار رنگ آبی نشان دهنده معنی دار بودن و رنگ قرمز نشان دهنده معنادار نبودن است که در این صورت رابطه باید

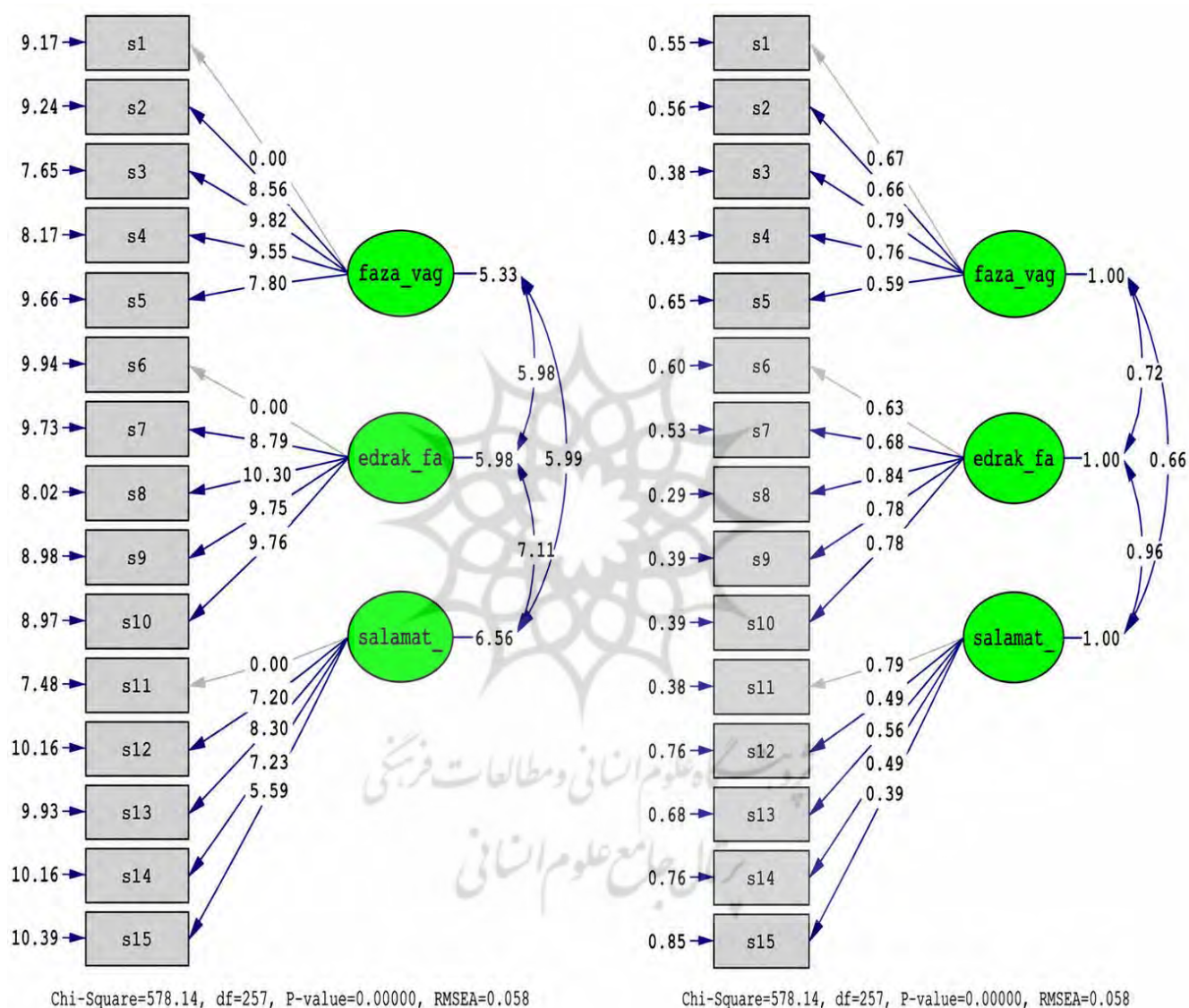
حذف شود. به طور کلی با توجه به ضرایب استاندارد و عدد معناداری می توان مناسب بودن یا مناسب نبودن مفاهیم (سؤالات) و مقوله ها را مورد آزمون قرار داد. شکل ۲ مدل اندازه گیری پژوهش را برای ابعاد پژوهش در دو حالت T-values و Standardized Solution نشان می دهند. قسمتی از نیکویی پردازش این مدل به صورت زیر است:

جدول ۲. قسمتی از نیکویی برازش مدل

شاخص ها	مقادیر بدست آمده
درجه آزادی	۲۵۲
کای اسکوتر	۵۷۸.۱۴
ریشه میانگین مربعات خطای تقریب (RMSEA)	۰.۰۵۸
شاخص تناسب غیر هنجاردار (NNFI)	۰.۹۴
شاخص تناسب مقایسه ای (CFI)	۰.۹۴
شاخص تناسب افزایشی (IFI)	۰.۹۰
شاخص خوب بودن تناسب (GFI)	۰.۸۷

تا تجربه دیجیتالی - به سطحی از هماهنگی و یکپارچگی منجر شده که دلالت بر تناسب معماری دیجیتال با نیازهای روانی و ادراکی کاربران دارد. این امر مؤید آن است که چارچوب طراحی انتخاب شده در پژوهش حاضر، می تواند به عنوان مدلی قابل اتکا برای تحلیل و ارتقاء فضاهای شهری در دیگر نقاط نیز مطرح شود.

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود در ارزیابی کیفیت ارتباط میان مؤلفه های فضاهای دیجیتال، ادراک فضا و سلامت روان در منطقه یک تهران، تحلیل ساختار مفهومی پژوهش نشان می دهد که عناصر معماری دیجیتال، هنگامی که به درستی در بستر شهری تعبیه می شوند، هم راستا با اهداف طراحی و تجربه شهروندان عمل می کنند. انسجام میان سطوح مختلف درک فضایی - از فرم فیزیکی



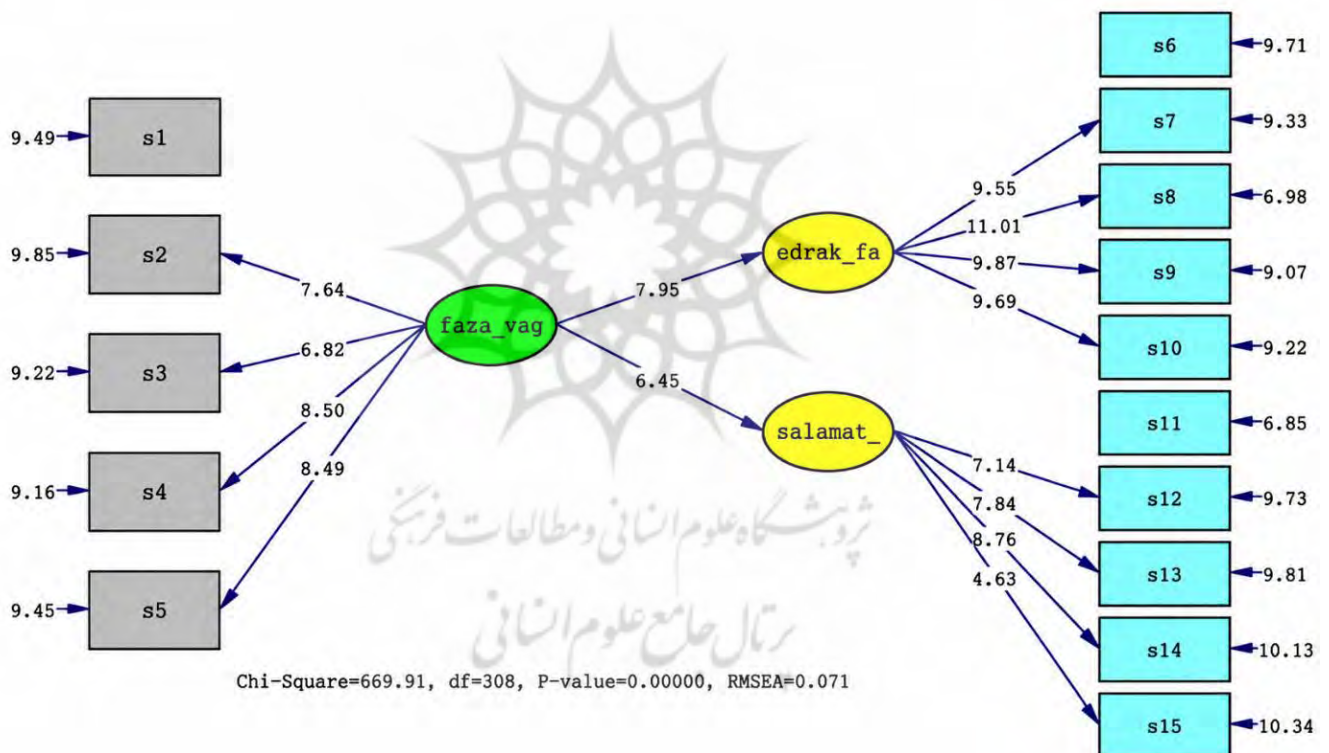
شکل ۲. مدل اندازه گیری پژوهش

ادراک فضا و سلامت روان شهروندان را آشکار می‌سازند. در مدل نخست، شدت و کیفیت ارتباطات میان متغیرها نشان داده شده که به‌وضوح بیانگر آن است که مؤلفه‌های مرتبط با معماری دیجیتال و واقعیت افزوده، تأثیری مستقیم و مؤثر بر چگونگی تجربه فضایی کاربران دارند. در مدل دوم نیز میزان تأثیرگذاری هریک از عوامل در شکل‌گیری ادراک فضایی و پیامدهای روانی آن تحلیل شده است. بررسی این مدل‌ها نشان می‌دهد که هم‌پوشانی مناسبی میان عناصر طراحی دیجیتال و نیازهای روانی شهروندان برقرار است و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان مبنایی برای بازطراحی فضاهای شهری با رویکرد معماری دیجیتال بهره گرفت.

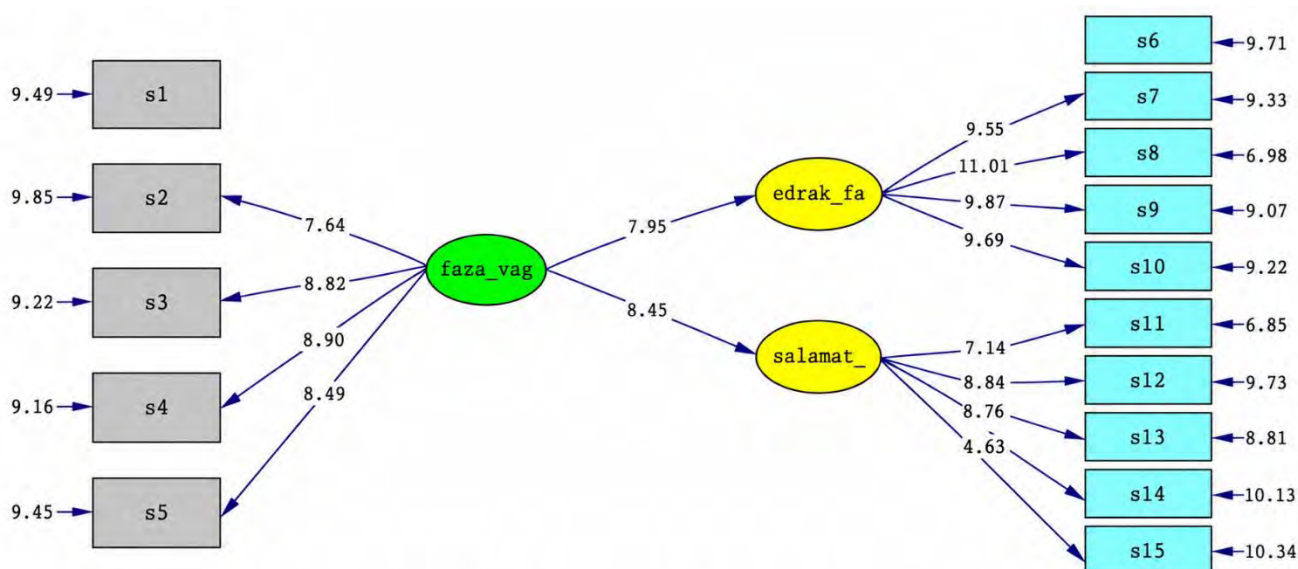
از طرفی معلوم شد سوال سوم از سازه ادراک فضاهای شهری دارای بیشترین همبستگی با این سازه بوده و بار عاملی آن در حالت استاندارد ۰.۸۴ است. همچنین مشخص شد سؤال پنجم از سازه سلامت روان شهروندان دارای کمترین همبستگی با این سازه بوده و بار عاملیان در حالت استاندارد ۰.۳۹ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت معناداری، تمامی بارهای عاملی بیش از ۱.۹۶ است و لذا همه‌ی روابط معنادار هستند و بنابراین تمامی سؤالات سازه‌های مربوط به خود را تبیین می‌کنند.

مدل ساختاری پژوهش

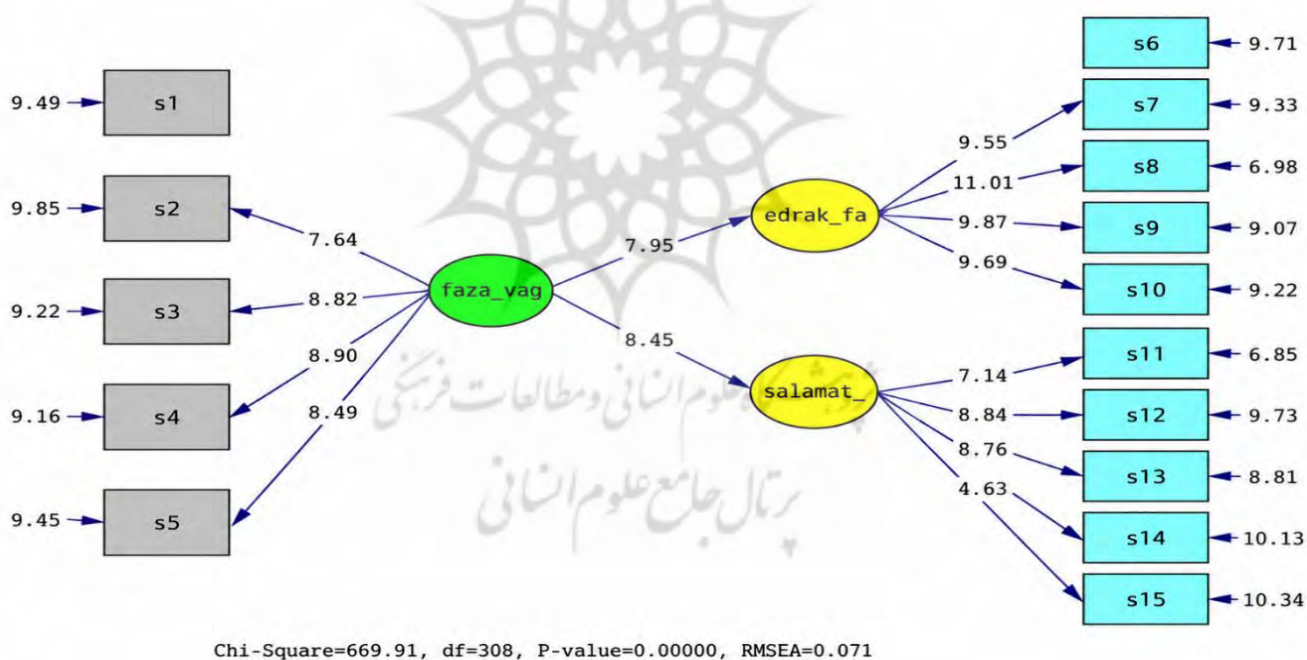
در ادامه‌ی تحلیل، مدل مفهومی پژوهش در قالب دو نمودار تفسیری ارائه شده است. این نمودارها به‌خوبی روابط میان فضاهای دیجیتال،



شکل ۳. مدل ساختاری پژوهش (استاندارد)



شکل ۴. مدل ساختاری پژوهش (معناداری)



شکل ۵. مدل ساختاری پژوهش (معناداری)

اکنون با توجه به بارهای عاملی بین ابعاد اصلی مدل نتیجه تمامی روابط معنی دار هستند و لذا فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده بر ادراک فضاهای شهری و سلامت روان شهروندان تأثیر معنادار داشته است و فرضیات تأیید می‌شوند. مقادیر حاصل از مدل ساختاری در جدول زیر آمده است:

سلامت روان شهروندان		ادراک فضاهای شهری		مؤلفه
معناداری	استاندارد	معناداری	استاندارد	
۸.۴۵	۰.۸۴	۷.۹۵	۰.۸۶	فضاهای دیجیتال و واقعیت افزوده

کاربران را در قالب گرافیک، صدا، متن و مدل سه بعدی به صورتی معنادار بازنمایی کند.

پژوهش حاضر همچنین نشان داد که فضاهای طراحی شده با رویکرد دیجیتال، در صورتی که فاقد انسجام بصری، سازمان فضایی یا منطقی روایی باشند، نه تنها به ارتقاء کیفیت زندگی نمی انجاءند، بلکه ممکن است موجب اغتشاش حسی و خستگی ذهنی شوند. از این رو، نقش معماران و طراحان شهری در هدایت این فناوری‌ها به سوی تجربه‌ای آرام، منظم، و ارتقاءدهنده برای کاربر، امری بنیادین است.

مدل پیشنهادی این پژوهش بر این اصل استوار است که: ادغام داده‌های دیجیتال در فرایند طراحی معماری باید هم‌سو با فرم، مقیاس، مسیر حرکت، نشانه‌های شهری و نیازهای روانی کاربران باشد. تنها در این صورت است که می‌توان از فناوری به عنوان ابزاری برای تقویت سلامت روان، افزایش حس مکان، و بازسازی تجربه فضایی بهره گرفت.

فهرست منابع

۱. موسوی، ف (۱۳۹۹). بررسی تأثیر طراحی تعاملی دیجیتال بر امنیت و مشارکت اجتماعی در فضاهای شهری تهران. فصلنامه معماری و شهرسازی دیجیتال ایران. ۵(۲)، ۸۵-۱۰۱.
۲. رضایی، ن، و همکاران (۱۴۰۰). بررسی ابزارهای رسانه‌ای در بهبود ادراک فضای معماری (نمونه موردی: واقعیت مجازی). فصلنامه شهرسازی ایران. ۴(۶)، ۱۸-۱.
۳. کریمی، س، و دیگران (۱۴۰۱). بررسی کاربرد استفاده از واقعیت افزوده در طراحی پروژه‌های معماری. فصلنامه علمی-پژوهشی معماری کاربردی. ۱۲(۴)، ۷۸-۵۶.
۴. پوراحمد، ا، و همکاران (۱۴۰۰). ارتقاء و بهبود مشارکت عمومی در طرح‌های توسعه شهری با استفاده از ابزار واقعیت مجازی. فصلنامه مهندسی و مدیریت شهری. ۹(۲)، ۸۹-۱۰۵.

5. Han, J. (2018). The Impact of Digital Environments on Urban Mental Wellbeing: A Cognitive Design

مقایسه پژوهش حاضر با تحقیقات پیشین

پژوهش حاضر با تکیه بر مبانی نظری مطالعات پیشین، گامی فراتر نهاده و با تمرکز بر تحلیل معماری در بستر بومی تهران، تلفیق فضاهای دیجیتال با طراحی فیزیکی فضاهای شهری را بررسی کرده است. برخلاف پژوهش‌هایی نظیر مارکوفسکی (۲۰۱۹)، لیو و همکاران (۲۰۲۱) یا هان (۲۰۱۸) که عمدتاً به جنبه‌های فناوری یا روان‌شناختی پرداخته‌اند، این مطالعه به ابعاد فضایی، کالبدی و تجربه‌محور در طراحی شهری توجه دارد. همچنین در مقایسه با مطالعات بومی مانند موسوی (۱۳۹۹)، این پژوهش با ارائه تحلیل طراحی و داده‌محور، مدلی برای کاربرد واقعیت افزوده در معماری شهری با هدف ارتقاء سلامت روان ارائه داده است.

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل داده‌های میدانی در منطقه یک شهر تهران نشان داد که فضاهای دیجیتال و فناوری واقعیت افزوده، در صورت تلفیق هوشمندانه با طراحی کالبدی، می‌توانند نقشی تعیین‌کننده در شکل‌دهی به تجربه فضایی معنادار ایفا کنند. این تجربه، نه تنها در سطح زیبایی‌شناختی و عملکردی، بلکه در لایه‌های روانی، ذهنی و ادراکی کاربر نیز تأثیرگذار است.

در شرایطی که شهر معاصر با پدیده‌های پیچیده‌ای همچون اغتشاش اطلاعاتی، گسست روانی و انزوای شهری روبه‌روست، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال، می‌تواند به تقویت حس مکان، افزایش مکث فضایی، ایجاد مسیرهای شناختی، و ارتقاء امنیت روانی منجر شود. به‌ویژه زمانی که داده‌های دیجیتال با ساختار معماری یکپارچه شده باشند و کاربران امکان تعامل هدفمند با محتوای فضا را داشته باشند، کیفیت ادراک از محیط به‌مراتب افزایش خواهد یافت.

از منظر طراحی شهری، واقعیت افزوده نباید صرفاً به عنوان ابزار جانبی یا نمایشی تلقی شود؛ بلکه باید به مثابه زبان جدید طراحی در نظر گرفته شود که قابلیت «روایت»، «افشا» و «بازآفرینی» مکان را دارد. این زبان، می‌تواند تاریخ، فرهنگ، هویت و نیازهای ذهنی

Perspective. *Journal of Urban Design and Mental Health*, 4(1), 21–33.

6. Liu, Y., Zhang, C., & Wang, J. (2021). Augmented Reality as a Tool for Urban Narratives: Place-making through Digital Storytelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 89, 101673. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101673>.

7. Markowski, T. (2019). Urban Digital Layers and the Sensory Experience of Space. In: *Digital Cities and the Experience of the Built Environment*. Springer.

8. Wang, H., Chen, L., & Xu, T. (2020). Design Principles for Augmented Urban Spaces: Aesthetic and Informational Balance. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(11), 1033–1045.

9. Vourvopoulos, A., et al. (2023). Use of augmented reality in mental health-related conditions: A systematic review. *Digital Health*, 9.

10. . Pajani, M., et al. (2025). Augmented reality and digital placemaking: enhancing quality of life in urban public spaces. ResearchGate.

11. Kim, S. (2025). How Augmented Reality is Advancing Brain and Mental Health Treatment. *The Scientist*.

12. . Pinos Cisneros, J., et al. (2024). Virtual reality natural experiences for mental health: comparing the effects of different immersion levels. *Virtual Reality*, 28(44).

13. Noroozi, M., et al. (2024). Extended Reality for Mental Health Evaluation: Scoping Review. *JMIR XR and Spatial Computing*, 1(e55051).

