

From Passive Space to Smart Built Environment: A Design Framework for Responsive Spaces Based on Measurable Interaction Logic

Fatemeh Fallahi*

Assistant Professor, Department of Architecture,
Islamic Azad University, Someh Sara Branch,
Someh Sara, Iran

Abstract

The expansion of smart city infrastructures—from the Internet of Things and sensor networks to data analytics and artificial intelligence—has created new opportunities for urban spaces to evolve from passive backdrops into intelligent artificial environments. Such environments are capable of perceiving conditions, interpreting meaning, and purposefully responding to users' behaviors and needs. However, the lack of an integrated framework that simultaneously incorporates human–environment interaction and key smart city requirements—such as sustainability, service efficiency, security, privacy, and data governance—has led to fragmented design approaches and difficulties in evaluating projects.

This paper proposes an interaction-based framework for designing responsive spaces, consisting of four interconnected layers: the perception layer (sensors and data collection), the interpretation layer (context modeling and rule-based or learning mechanisms), the action layer (actuators and multisensory feedback), and the governance layer (security, privacy, and transparency). To evaluate responsive environment projects, a set of urban-scale indicators is introduced, including user experience quality, spatial resilience, energy efficiency, equity of access, and trustworthiness. The proposed evaluation approach combines behavioral data analysis, citizen feedback, system performance assessment, and data governance transparency, enabling systematic comparison and continuous improvement of design solutions. The contribution of this research lies in defining an implementable and measurable interaction logic for intelligent environment projects within the smart city context.

Keywords: intelligent artificial environment, responsive spaces, human–environment interaction, interaction design

Received: 13/July/2026

Accepted: 14/August/2026

eISSN: 3060-6144

ISSN: 2980-8936

* Corresponding Author: fallahi@iau.ac.ir

از فضای منفعل تا محیط مصنوع هوشمند: چارچوب طراحی فضاهای پاسخگو بر پایه‌ی منطق سنجش‌پذیر تعامل

فاطمه فلاحی* | استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد واحد صومعه‌سرا، صومعه‌سرا، گیلان، ایران

چکیده

گسترش زیرساخت‌های شهر هوشمند، از اینترنت اشیا و شبکه‌های حسگری تا تحلیل داده و هوش مصنوعی، فرصتی فراهم کرده است تا فضاهای شهری از پس‌زمینه‌ای منفعل به محیط مصنوع هوشمند تبدیل شوند؛ محیطی که وضعیت را ادراک می‌کند، معنا را تفسیر می‌کند و به‌صورت هدفمند به رفتار و نیاز کاربران پاسخ می‌دهد. با این حال، نبود چارچوبی یکپارچه که هم‌زمان تعامل انسان-محیط و الزامات شهر هوشمند، مانند پایداری، کارایی خدمات، امنیت، حریم خصوصی و حکمرانی داده، را در طراحی فضا ادغام کند، باعث پراکندگی راهکارها و دشواری ارزیابی پروژه‌ها شده است. این مقاله چارچوبی مبتنی بر تعامل برای طراحی فضاهای پاسخگو ارائه می‌کند که اجزای آن شامل لایه‌ی ادراک (حسگرها و گردآوری داده)، لایه‌ی تفسیر (مدل‌سازی زمینه و قواعد/یادگیری)، لایه‌ی کنش (محرک‌ها و بازخورد چندحسی) و لایه‌ی حکمرانی (امنیت، حریم خصوصی و شفافیت) است. به منظور ارزیابی پروژه‌های محیط پاسخگو، شاخص‌هایی چون کیفیت تجربه‌ی کاربر، تاب‌آوری، بهره‌وری انرژی، عدالت دسترسی و اعتمادپذیری در مقیاس شهری پیشنهاد می‌شود. همچنین روش ارزیابی پیشنهادی شامل تحلیل ترکیبی داده‌های رفتاری و بازخورد شهروندان، سنجش عملکرد سامانه و شفافیت حکمرانی داده است تا امکان مقایسه و بهبود راهکارها فراهم شود. دستاورد این پژوهش، تعریف منطق قابل پیاده‌سازی و سنجش‌پذیر تعامل برای پروژه‌های محیط هوشمند در شهر هوشمند است.

کلیدواژه‌ها: محیط مصنوع هوشمند، فضاهای پاسخگو، تعامل انسان-محیط، طراحی تعاملی

مقدمه

تحولات فناورانه در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در حوزه‌ی شهر هوشمند، موجب تغییر بنیادین در ماهیت فضاهای مصنوع شده است. فضاهایی که در گذشته صرفاً به‌عنوان بستری فیزیکی و منفعل برای فعالیت‌های انسانی شناخته می‌شدند، امروزه با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، شبکه‌های حسگری، تحلیل داده و هوش مصنوعی، به محیط‌هایی پویا، تطبیق‌پذیر و پاسخ‌گو تبدیل شده‌اند (Kitchin, 2014). این تحول، مفهوم فضا را از یک ساختار ایستا به یک سامانه‌ی تعاملی ارتقا داده است که قادر به ادراک شرایط، تفسیر داده‌ها و واکنش متناسب با رفتار کاربران است (Bullivant, 2006).

با وجود گسترش کاربرد فناوری‌های هوشمند در پروژه‌های شهری، بررسی تجربه‌های اجرا شده نشان می‌دهد که این فناوری‌ها اغلب به‌صورت جزیره‌ای و بدون یک چارچوب طراحی منسجم در فضاهای شهری به کار گرفته می‌شوند؛ موضوعی که منجر به کاهش کیفیت تجربه‌ی کاربر، دشواری ارزیابی عملکرد فضا و بروز چالش‌هایی در حوزه‌ی امنیت و حریم خصوصی می‌شود (Townsend, 2013). برخلاف هوشمندسازی که رویکردی الحاقی است، معماری هوشمند سیستمی یکپارچه و ذاتاً هوشمند است که ویژگی‌های آن در تار و پود بنا تنیده شده‌اند. این معماری، از طریق تلفیق راهبردهای فعال و منفعل، با ایجاد ارتباطی پویا و پلادرنگ با محیط، ضمن پاسخگویی هوشمندانه به محرک‌ها، بستری برای تعامل مداوم و بهینه میان کاربر و فضا فراهم می‌آورد (Castello, 2010). در پژوهش‌های داخلی نیز، اگرچه مفاهیمی چون معماری هوشمند و فضاهای تعاملی مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما تمرکز اغلب آن‌ها بر جنبه‌های فنی یا کالبدی بوده و تعامل انسان-محیط به‌عنوان هسته‌ی اصلی طراحی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (فلاحی و ارزن زرین، ۱۴۰۳).

اهمیت پرداختن به موضوع محیط مصنوع هوشمند از آن جهت است که این محیط‌ها نقش مهمی در ارتقای کیفیت زندگی شهری، افزایش بهره‌وری انرژی، بهبود تاب‌آوری فضاها و افزایش رضایت و اعتماد شهروندان ایفا می‌کنند (Batty et al., 2012). در چارچوب شهر هوشمند، بی‌توجهی به ابعاد اجتماعی، عدالت دسترسی و حکمرانی داده در طراحی فضاهای پاسخ‌گو می‌تواند به کاهش پذیرش اجتماعی و تعمیق شکاف دیجیتال منجر شود (Kumar, 2014). از این رو، طراحی محیط مصنوع هوشمند نیازمند رویکردی است که هم‌زمان ابعاد فناورانه، انسانی و مدیریتی را در نظر گیرد.

پیشینه پژوهش

مرور ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات متعددی به‌طور مستقل به فضاهای تعاملی، محیط‌های پاسخ‌گو، سیستم‌های سایبر-فیزیکی و زیرساخت‌های شهر هوشمند پرداخته‌اند (Fox & Kemp, 2009; Camisón & Villar-López, 2011). با این حال، همچنان خلأ یک چارچوب یکپارچه که بتواند این مفاهیم را در قالب مدلی قابل طراحی و قابل ارزیابی تلفیق کند، مشهود است. به‌ویژه در زمینه‌ی ارزیابی عملکرد محیط‌های مصنوع هوشمند، فقدان شاخص‌های چندبعدی و روش‌های ترکیبی مبتنی بر داده و تجربه‌ی کاربران، یکی از چالش‌های اصلی پژوهش‌های موجود به شمار می‌رود (Hazen & Terry, 2012).

فوکاس و همکاران^۱ (۲۰۲۰) در مقاله‌ی «رویکرد کینماتیک و کنترل برای ساختارهای اتصال صلب و تغییرپذیر»، بر ظرفیت انطباق‌پذیری سیستم‌های ساختمانی قابل استقرار تمرکز کرده‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از ساختارهای مدولار، ضمن افزایش انعطاف‌پذیری و کنترل‌پذیری فضاها، رفتار تعاملی را بهینه‌سازی کرد.

ماهیت مدولار و شبکه‌بندی شده‌ی این دسته از سازه‌ها، به‌عنوان نمونه‌ای بارز از معماری پویا، مورد توجه پژوهشگران متعددی همچون اسلاوتر^۱ (۲۰۰۱)، جان هابراکن^۲ (۲۰۰۸)، صالح و همکاران^۳ (۲۰۰۹) و دتونی و تونکیا^۴ (۱۹۹۸) نیز قرار گرفته است.

هدف اصلی این پژوهش، ارائه‌ی یک چارچوب مفهومی مبتنی بر تعامل برای طراحی محیط مصنوع هوشمند در بستر شهر هوشمند است؛ چارچوبی که علاوه بر هدایت فرایند طراحی، امکان ارزیابی و مقایسه‌ی پروژه‌های محیط پاسخ‌گو را فراهم سازد. اهداف فرعی پژوهش شامل تبیین لایه‌های عملکردی محیط هوشمند، شناسایی شاخص‌های ارزیابی کیفیت فضاهای پاسخ‌گو و ارائه‌ی یک روش ارزیابی چندمعیاره مبتنی بر تحلیل داده‌های رفتاری، بازخورد شهروندان و سنجش عملکرد سامانه است.

بر این اساس، فرضیه‌های پژوهش عبارت‌اند از:

۱. به کارگیری چارچوبی مبتنی بر تعامل، موجب ارتقای کیفیت تجربه‌ی کاربر در محیط‌های مصنوع هوشمند می‌شود.
۲. استفاده از شاخص‌های ارزیابی چندبعدی، امکان سنجش دقیق‌تر کارایی، پایداری و تاب‌آوری فضاهای پاسخ‌گو را فراهم می‌کند.
۳. ادغام لایه‌ی حکمرانی داده در طراحی محیط مصنوع هوشمند، تأثیر معناداری بر افزایش اعتماد و پذیرش اجتماعی شهروندان دارد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی می‌باشد که با رویکردی ترکیبی (کیفی-کمی) انجام شده است. هدف اصلی تحقیق، تدوین و ارزیابی یک چارچوب مفهومی مبتنی بر تعامل برای طراحی محیط مصنوع هوشمند در بستر شهر هوشمند است. جامعه‌ی آماری پژوهش شامل متخصصان حوزه‌های معماری و شهرسازی، طراحی تعاملی، سیستم‌های هوشمند شهری و فناوری اطلاعات است. نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند انجام شده و نمونه‌ی پژوهش شامل ۳۰ نفر از خبرگان دانشگاهی و حرفه‌ای با سابقه فعالیت یا پژوهش در حوزه‌های مرتبط می‌باشند. ابزار اصلی پژوهش، پرسشنامه‌ی محقق ساخته مبتنی بر چارچوب پیشنهادی است که شاخص‌های چهار لایه‌ی اصلی شامل:

۱. ادراک^۵

۲. تفسیر^۶

۳. کنش^۷

۴. حکمرانی داده^۸

را در بر می‌گیرد. پرسشنامه بر اساس مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت تنظیم شده است. روایی محتوایی پرسشنامه با استفاده از نظر خبرگان و اساتید متخصص تأیید شد. برای سنجش پایایی ابزار، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار آن برای کل پرسشنامه برابر با ۰/۸۲ به‌دست آمد و بیانگر پایایی مناسب ابزار پژوهش است. داده‌های

1. Slaughter
2. John Habraken
3. Saleh et al.
4. De Toni & Tonchia
5. perception
6. interpretation
7. action
8. governance

گردآوری‌شده با استفاده از روش‌های آمار توصیفی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفت. در بخش توصیفی، شاخص‌هایی نظیر میانگین و انحراف معیار محاسبه شد و در بخش تحلیلی، میزان تأثیر چارچوب پیشنهادی بر شاخص‌های ارزیابی شامل کیفیت تجربه‌ی کاربر، بهره‌وری انرژی، تاب‌آوری فضایی، عدالت دسترسی و اعتمادپذیری تحلیل گردید. همچنین نتایج به‌صورت نمودار و جدول ارائه و تفسیر شده‌اند.

مبانی نظری

محیط مصنوع هوشمند و گذار از فضای منفعل

مفهوم «محیط مصنوع هوشمند» به فضاهایی اطلاق می‌شود که از طریق ادغام سامانه‌های دیجیتال، حسگرها، پردازش داده و سازوکارهای تصمیم‌گیری، قادر به درک شرایط محیطی و پاسخ‌گویی تطبیقی به نیازهای کاربران هستند. برخلاف فضاهای سنتی که ماهیتی منفعل دارند، محیط‌های هوشمند به‌عنوان سامانه‌هایی پویا عمل می‌کنند که رفتار کاربران و تغییرات زمینه‌ای را به‌صورت مستمر تحلیل می‌نمایند (Batty et al., 2012). این گذار مفهومی از «فضای ثابت» به «محیط پاسخ‌گو» یکی از بنیان‌های اصلی شهر هوشمند محسوب می‌شود و زمینه‌ساز بازتعریف نقش معماری و طراحی شهری در عصر داده‌محور است (Townsend, 2013).

فضاهای پاسخ‌گو و تعامل انسان-محیط

فضاهای پاسخ‌گو^۱ فضاهایی هستند که از طریق بازخوردهای لحظه‌ای، امکان تعامل دوسویه میان انسان و محیط را فراهم می‌کنند. این تعامل می‌تواند در قالب تنظیم نور، دما، صدا، فرم یا عملکرد فضایی نمود پیدا کند. بولیوانت^۲ (۲۰۰۶) فضاهای پاسخ‌گو را نتیجه‌ی پیوند میان طراحی معماری، محاسبات دیجیتال و تجربه‌ی انسانی می‌داند. بر اساس آنچه کومار^۳ (۲۰۱۴) گفته است، در این پژوهش، مفهوم تعامل انسان-محیط به‌عنوان مبنای لایه‌های ادراک، تفسیر و کنش در جداول یافته‌ها مورد استفاده قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که کیفیت تعامل، نقش تعیین‌کننده‌ای در تجربه‌ی کاربر ایفا می‌کند.

طراحی تعاملی و سیستم‌های فضایی هوشمند

طراحی تعاملی^۴ فراتر از طراحی رابط‌های دیجیتال بوده و به چگونگی شکل‌گیری ارتباط میان کاربران و سیستم‌های پیچیده می‌پردازد. در محیط‌های مصنوع هوشمند، طراحی تعاملی نقش واسط میان داده، فناوری و رفتار انسانی را ایفا می‌کند (Fox & Kemp, 2009). سیستم‌های فضایی هوشمند با تکیه بر طراحی تعاملی می‌توانند به بهبود تاب‌آوری فضایی و بهره‌وری انرژی منجر شوند؛ دو شاخصی که در جداول تحلیلی پژوهش حاضر به‌عنوان متغیرهای کلیدی ارزیابی شده‌اند (Camisón & Villar-López, 2011).

داده، حکمرانی و اعتماد در شهرهای هوشمند

با گسترش اینترنت اشیا^۵ شهری، داده به یکی از عناصر بنیادین در عملکرد فضاهای هوشمند تبدیل شده است. با این حال، صرف تولید داده تضمین‌کننده‌ی کارایی سیستم‌ها نیست، بلکه حکمرانی داده، شفافیت و نحوه‌ی استفاده از آن نقش اساسی در پذیرش اجتماعی این فضاها دارد (Kitchin, 2014). مطالعات نشان می‌دهند که نبود چارچوب‌های

1. responsive spaces
2. Bullivant
3. Kumar
4. interaction design
5. Urban IoT

شفاف در مدیریت داده می‌تواند اعتماد شهروندان را کاهش دهد و عدالت دسترسی به خدمات هوشمند را با چالش مواجه سازد (Hazen & Terry, 2012). از این‌رو، در این پژوهش «حکمرانی داده» به‌عنوان یکی از لایه‌های اصلی چارچوب تحلیلی و یکی از شاخص‌های ارزیابی در جداول یافته‌ها لحاظ شده است.

چارچوب مفهومی پژوهش

بر اساس مبانی نظری مطرح‌شده، چارچوب مفهومی این پژوهش بر چهار لایه اصلی ادراک، تفسیر، کنش و حکمرانی داده استوار است. این لایه‌ها به‌صورت یک زنجیره‌ی تعاملی عمل می‌کنند که در آن، داده‌های محیطی و رفتاری پس از ادراک و تفسیر، به کنش‌های هوشمند فضایی منجر شده و در نهایت، در بستر حکمرانی داده ارزیابی می‌شوند. این چارچوب (نمودار ۱)، مبنای طراحی پرسشنامه، ساخت جداول تحلیلی و تفسیر نتایج در بخش یافته‌ها قرار گرفته و امکان سنجش هم‌زمان کیفیت تجربه کاربر، تاب‌آوری، بهره‌وری انرژی، عدالت دسترسی و اعتمادپذیری را فراهم می‌سازد.



نمودار ۱. دیاگرام مفهومی بر اساس چهارلایه (ادراک، تفسیر، کنش، حکمرانی داده) با تعامل انسان-محیط در مرکز و شاخص‌های ارزیابی در پایین

یافته‌ها

یافته‌های ارائه شده در این بخش بر اساس امتیازات محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۱) و تحلیل آماری داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ی محقق ساخته استخراج شده‌اند. بررسی توصیفی نشان داد که ۷۷٪ از پاسخ‌دهندگان دارای سابقه بیش از ۱۰ سال فعالیت در حوزه‌ی طراحی یا پژوهش مرتبط با محیط‌های شهری و یا معماری هستند و ۶۳٪ از آنان در پروژه‌های مرتبط با سیستم‌های هوشمند شهری و مسکن مشارکت داشته‌اند. این ترکیب جمعیتی نشان‌دهنده‌ی کفایت تخصصی جامعه‌ی آماری برای سنجش چارچوب پیشنهادی است. به‌منظور محاسبه‌ی امتیاز نهایی هر لایه از چارچوب محیط مصنوع هوشمند، از میانگین ساده‌ی مقادیر گویه‌های مرتبط با هر لایه استفاده شد. امتیاز هر لایه از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد:

$$Score_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (1)$$

رابطه‌ی ۱: $Score_i$ امتیاز لایه‌ی i ، X_{ij} مقدار پاسخ گویه j در لایه‌ی i ، و n تعداد گویه‌های مربوط به آن لایه

میانگین کلی ارزیابی لایه‌ها برابر با ۴/۰۹ است که نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای تعامل میان انسان و محیط بر اساس چارچوب پیشنهادی است (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار شاخص‌های چهار لایه چارچوب محیط مصنوع هوشمند

ردیف	عملکردی	شاخص ارزیابی	میانگین (مقیاس ۵-۱)	انحراف معیار
۱	ادراک	دقت حسگرها و تطبیق‌پذیری داده‌ها	۴/۲۳	۰/۴۲
۲	تفسیر	قابلیت تحلیل داده و ترجمه رفتار کاربر	۴/۱۰	۰/۳۷
۳	کنش	سرعت پاسخ محیط و هماهنگی کنش‌های هوشمند	۴/۱۸	۰/۴۴
۴	حکمرانی داده‌ها	شفافیت و اعتمادپذیری در استفاده از داده‌ها	۳/۸۶	۰/۴۸

تحلیل همبستگی پیرسون میان متغیرهای اصلی نشان داد که رابطه‌ای قوی بین «لایه‌ی تفسیر» و «کیفیت تجربه‌ی کاربر» با ضریب $r = 0.81$ وجود دارد. همچنین «لایه‌ی حکمرانی داده» دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با «اعتماد اجتماعی» ($r = 0.68$) است. این یافته‌ها فرضیه‌ی سوم را مبنی بر نقش حکمرانی داده در پذیرش اجتماعی محیط‌های هوشمند تأیید می‌کنند. در بخش کنش، نسبت میان پاسخ هوشمند به شرایط محیطی و «بهره‌وری انرژی» برابر با $r = 0.74$ محاسبه شد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر مستقیم تصمیم‌گیری هوشمند بر مصرف انرژی فضاهای مصنوع می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تحلیل همبستگی شاخص‌های اصلی چارچوب

شاخص‌ها	کیفیت تجربه‌ی کاربر	تاب‌آوری فضایی	بهره‌وری انرژی	اعتمادپذیری اجتماعی
ادراک	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۱
تفسیر	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۵۴
کنش	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۶۳
حکمرانی داده‌ها	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۶۸

همه‌ی ضرایب در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار هستند ($\alpha > 0.05$). بیشترین مقدار مشاهده شده مربوط به رابطه‌ی بین کنش و تاب‌آوری فضایی است که نشان‌دهنده‌ی اهمیت واکنش هوشمند فضا در پایداری عملکرد محیط مصنوع می‌باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های بتی و همکاران^۱ (۲۰۱۲) در مورد ارتباط میان داده و تصمیم‌گیری شهری هم‌راستا بوده و نشان می‌دهد که ادغام داده‌های رفتاری شهروندان در سامانه‌های هوشمند می‌تواند کیفیت فضاها را به‌صورت معنی‌داری افزایش دهد. همچنین همانند نتایج کیچین^۲ (۲۰۱۴) درباره‌ی شهرهای داده‌محور، شفافیت داده و حکمرانی آن، نقش اساسی در اعتماد شهروندی ایفا می‌کند. به‌طور کلی، یافته‌ها چهار مؤلفه کلیدی را نشان می‌دهند:

۱. ادراک پویا و واقعی محیط: پایه‌ی فهم رفتار کاربران.

۲. تفسیر داده‌های تطبیقی: عامل اصلی بهبود تجربه‌ی کاربر.

۳. کنش هوشمند: محور بهره‌وری و تاب‌آوری فضایی.

۴. حکمرانی داده شفاف: شرط اعتماد اجتماعی و عدالت دسترسی.

بنابراین، چارچوب پیشنهادی توانسته است معیارهای کارایی، پایداری و تعامل انسانی را در ارزیابی محیط مصنوع هوشمند پوشش دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که گذار از فضای منفعل به محیط مصنوع هوشمند، مستلزم رویکردی لایه‌مند و مبتنی بر تعامل انسان-محیط است. نتایج تحلیل داده‌ها حاکی از آن است که لایه‌های ادراک، تفسیر و کنش به‌طور

مستقیم بر کیفیت تجربه‌ی کاربر و عملکرد فضایی تأثیر می‌گذارند، در حالی که حکمرانی داده نقش واسط و تقویت‌کننده‌ای در پایداری اجتماعی و اعتمادپذیری محیط ایفا می‌کند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات بتی و همکاران (۲۰۱۲) و تاوانسند^۱ (۲۰۱۳) هم‌راستا هستند که بر نقش سیستم‌های داده‌محور و پاسخ‌گو در شکل‌گیری شهرهای هوشمند تأکید دارند. همچنین نتایج پژوهش حاضر با دیدگاه بولیوانت (۲۰۰۶) در خصوص فضاهای پاسخ‌گو و با رویکرد کیچین (۲۰۱۴) در زمینه‌ی حکمرانی داده همخوانی دارد؛ به‌ویژه در این نکته که بدون شفافیت، اخلاق داده و سازوکارهای اعتمادساز، حتی پیشرفته‌ترین سامانه‌های هوشمند نیز با چالش پذیرش اجتماعی مواجه خواهند شد. در مقایسه با پژوهش‌های پیشین که عمدتاً بر جنبه‌های فنی یا زیرساختی تمرکز داشته‌اند، این پژوهش با قرار دادن تعامل انسان-محیط در مرکز چارچوب مفهومی، توانسته است پیوندی معنادار میان طراحی تعاملی، عملکرد فضایی و شاخص‌های ارزیابی شهر هوشمند برقرار سازد.

در جمع‌بندی می‌توان گفت که چارچوب مفهومی پیشنهادی این پژوهش، شامل چهار لایه‌ی ادراک، تفسیر، کنش و حکمرانی داده، ابزاری منسجم برای تحلیل و طراحی محیط‌های مصنوع هوشمند فراهم می‌آورد. نتایج نشان دادند که تقویت تعامل انسان-محیط می‌تواند به بهبود تجربه‌ی کاربر، تاب‌آوری فضایی، بهره‌وری انرژی، عدالت دسترسی و اعتماد اجتماعی منجر شود. این چارچوب قابلیت به کارگیری در مقیاس‌های مختلف، از فضاهای معماری تعاملی تا سامانه‌های شهری هوشمند را داراست.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، چارچوب ارائه شده در بستر مطالعات موردی واقعی و پروژه‌های اجرا شده‌ی شهری مورد آزمون قرار گیرد و شاخص‌های ارزیابی آن با داده‌های میدانی و طولی تکمیل شود. همچنین بررسی نقش سیاست‌گذاری و مقررات شهری در تقویت لایه‌ی حکمرانی داده می‌تواند به توسعه‌ی مدل‌های بومی محیط‌های هوشمند در شهرهای ایران کمک نماید.

منابع

- فلاح، محمد صادق، و ارزن زرین، کیوان. (۱۴۰۳). نسبت هوشمندی و مکان؛ از هوشمندسازی معماری تا مکان هوشمند. فصلنامه نقش جهان، ۱۴(۴)، ۲۵-۴۶.
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518.
- Bullivant, L. (2006). *Responsive environments: Architecture, art and design*. London: V&A Publications.
- Camisón, C., & Villar-López, A. (2011). Non-technical innovation: Organizational memory and learning capabilities as antecedent factors with effects on sustained competitive advantage. *Industrial Marketing Management*, 40(8), 1294-1304.
- Castello, L. (2010). *Rethinking the meaning of place conceiving place in architecture-urbanism*. London: Routledge.
- De Toni, A., & Tonchia, S. (1998). Manufacturing flexibility: A literature review. *International Journal of Production Research*, 36(6), 1587-1617.
- Fox, M., & Kemp, M. (2009). *Interactive architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- Hazen, B., & Terry, A. (2012). Toward creating competitive advantage with logistics information technology. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(1), 8-35.
- John Habraken, N. (2008). Design for flexibility. *Building Research & Information*, 36(3), 290-296.
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14.
- Kumar, T. M. V. (2014). Smart economy in smart cities. In T. M. V. Kumar (Ed.), *Smart economy in smart cities* (pp. 3-76). Singapore: Springer.

- Phocas, M. C., Christoforou, E. G., & Dimitriou, P. (2020). Kinematics and control approach for deployable and reconfigurable rigid bar linkage structures. *Engineering Structures*, 208(110310).
- Saleh, J. H., Mark, G., & Jordan, N. C. (2009). Flexibility: A multi-disciplinary literature review and a research agenda for designing flexible engineering systems. *Journal of Engineering Design*, 20(3), 307-323.
- Slaughter, E. S. (2001) Design strategies to increase building flexibility. *Building Research & Information*, 29(3), 208-17.
- Townsend, A. M. (2013). *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. New York: W. W. Norton & Company.

