



eISSN: 2981-1791

Urban Strategic Thought

<https://ut.journals.ikiu.ac.ir/>

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Publisher: Imam Khomeini International University

CPU Framework: Integrating Neuro-Urbanism and AI Toward Inclusive Smart Cities for the Color Vision Deficient

Faezeh Sanjabie⁽¹⁾, Atefeh Dehghan Tooran Poshti^{(2)*}, Seyed Majid Naderi⁽³⁾

1. Ph.D. Candidate in Urban planning, Department of Art and Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Ph.D. in Urban planning, Department of Art and Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Ph.D. in Urban planning, Department of Art and Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 25/10/2025
Accepted: 20/04/2026
PP. 24-40

Keywords:

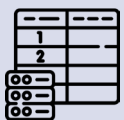
Color Vision Deficiency, Neurourbanism, Perceptual Justice, Smart Cities.



Number of references: 32



Number of figures: 1



Number of tables: 1



Use your device to scan
and read the article online

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: This research introduces Cognitive Perception-Based Urbanism (CPU), a framework integrating neurourbanism, perceptual justice, and artificial intelligence for human-centered smart cities. In rapidly urbanizing and digitally saturated environments, cities increasingly prioritize efficiency over empathy. Although data-driven systems enhance operational performance, they frequently overlook the cognitive, emotional, and perceptual diversity of citizens. CPU challenges this imbalance by reframing the city as a cognitive ecosystem in which sensory inputs, neural processes, and perceptual experiences shape urban life. It argues that genuine urban intelligence requires aligning technological capacity with human perceptual needs, positioning perceptual diversity as a core principle of sustainable, innovative urban design. Across the last decade, “smartness” has been operationalized through connectivity, sensing, automation, and real-time control. Yet a city can be flawlessly optimized and still be confusing, exhausting, or inequitable to navigate. Urban life is experienced through continuous streams of environmental information: color-coded transit lines, layered wayfinding, digital screens, lighting gradients, soundscapes, crowds, and spatial complexity. These inputs are not merely seen or heard; they are filtered by attention, interpreted through learned conventions, and processed under time pressure, stress, fatigue, and distraction. CPU is built on the premise that the city functions as an “external brain” for its users: it communicates rules, routes, hazards, and opportunities via signals that must be legible and cognitively manageable. When signals are ambiguous, contradictory, or excessively dense, people compensate by slowing down, re-checking, asking for help, or avoiding spaces altogether. These micro-frictions accumulate into macro-inequalities, especially for populations whose sensory processing differs from the assumed norm. CPU proposes that the smartest city is not the one that measures everything, but the one that communicates meaning clearly and safely for diverse minds. This shift redefines urban intelligence as perceptual clarity rather than mere computational sophistication.

The Purpose of the Research: The primary aim of this study is to conceptualize and operationalize the CPU framework as a methodological and analytical bridge connecting human perceptual diversity with technological systems of urban management. By selecting Color Vision Deficiency (CVD) as a demonstrative case of perceptual variation, the study reveals how sensory inclusivity can be embedded systematically into smart-city design. CVD serves as a measurable, widely prevalent, and historically overlooked form of perceptual inequality that challenges the assumption of visual uniformity in urban design. CVD is selected because it makes a subtle but consequential problem visible: many urban systems rely on color as the primary carrier of meaning, hierarchy, and urgency. Color is used to encode route identity, classify services, convey warnings, and differentiate functions in both physical and digital interfaces. For people with common forms

of CVD, these distinctions may collapse, producing uncertainty about which line to follow, which sign to trust, or which instruction is critical. The resulting delays and hesitations are not merely inconveniences; they can increase cognitive load, elevate stress, and, in safety-critical contexts, amplify risk. CPU uses the CVD case to demonstrate an approach that is generalizable: define perceptual diversity, simulate its implications for real environments, quantify legibility and cognitive burden, and translate findings into design standards and governance procedures. This purpose is both theoretical and practical. Theoretically, CPU integrates evidence about brain–environment interaction with normative claims about fairness in urban communication. Practically, it offers a route to embed perceptual inclusion into planning workflows, procurement criteria, and performance evaluation. The intent is to transform urban “smartness” from a purely data-centric construct into a cognitively intelligent system grounded in empathy, sensory clarity, emotional well-being, and perceptual fairness.

Methodology: The research adopts a theoretical–conceptual methodology grounded in critical literature review, cross-disciplinary synthesis, and an interpretive comparative case approach. Concepts from neuroscience, environmental psychology, sensory justice, disability studies, and computational modeling are synthesized to uncover the conceptual void separating urban technology from human perception. Following this theoretical integration, CPU is illustrated through a case analysis of Bangkok, a megacity characterized by high visual density, color-coded infrastructure, and perceptual accessibility challenges for CVD users. The conceptual synthesis proceeds in three steps. First, the study critically reviews smart-city models to identify where they assume a “standard user” and where they reduce urban experience to functional performance. Second, it consolidates neurourban evidence on how environmental stressors and perceptual complexity affect attention, emotional regulation, and decision-making, translating these insights into design-relevant constructs such as cognitive load, signal discriminability, and perceptual safety. Third, it connects these constructs to justice-oriented planning by defining fairness in terms of equal legibility and balanced cognitive effort. To illustrate CPU in a real urban context, Bangkok is used as an interpretive case because it combines intense visual stimulation with extensive reliance on color-coded systems in mobility and wayfinding. Bangkok’s layered commercial signage, transit branding, and dense street environments create conditions in which small perceptual mismatches can scale into major navigational challenges. The analysis draws on AI-assisted simulations that approximate CVD viewing conditions and evaluates how color-dependent information systems perform under perceptual variation. This methodological integration—combining neuro-urban principles of stress and attentional demand with machine-vision modeling—demonstrates how perception-based evidence can inform inclusive design standards, perceptual audits, and equitable urban policies.

Findings and Discussion: Findings demonstrate that mainstream smart-city models remain dominantly technocentric, prioritizing control, prediction, and infrastructural performance while neglecting the perceptual experience of users. CPU introduces three interdependent pillars as a corrective paradigm. (1) Neurourbanism explains how factors such as noise, density, color saturation, lighting variability, and spatial complexity influence brain function, emotional stability, attentional capacity, and stress regulation. In CPU, neurourbanism contributes not only explanatory evidence but also operational criteria: environments should be designed to reduce unnecessary attentional competition, support clear figure–ground separation, and maintain manageable informational density at decision points such as transfers, intersections, and emergency exits. (2) Perceptual Justice expands the scope of urban equity by asserting that cities must ensure perceptual accessibility—guaranteeing that spatial information is legible, distinguishable, and cognitively manageable for all citizens. CPU reframes fairness as equality of experience, not merely equality of access. If one group must exert substantially more mental effort to decode the same signals, then the city is distributing cognitive burden unequally. Perceptual justice therefore calls for standards that address redundancy, contrast, hierarchy, and interpretability, and it treats perceptual ambiguity as a governance failure rather than an individual problem. (3) Artificial Intelligence functions as the mediating layer capable of modeling perceptual differences, visualizing sensory inequities, generating design alternatives, and predicting cognitive strain before implementation. Within CPU, AI is not merely a tool for efficiency; it becomes a tool for anticipatory inclusion. Machine-vision pipelines can test signage systems, maps, and interfaces against multiple perceptual profiles; digital twins can expose where signal hierarchies break down; and optimization procedures can propose multi-coded alternatives that preserve aesthetics while improving discriminability. Applied to the Bangkok case, CPU demonstrates how multi-coded design—using shape, texture, contrast, typography, and iconography in addition to color—can significantly improve spatial legibility

for CVD users. This includes redundant line identities (numbers or symbols), consistent icon sets, high-contrast palettes validated under simulation, and decision-point signage that prioritizes essential cues over decorative complexity. AI-enabled digital twins reveal perceptual blind spots and stress-inducing zones, showing how urban morphology affects cognitive load and where redesign yields the greatest equity gains. More broadly, the findings suggest that perceptual injustice is often “designed in” through default assumptions, procurement habits, and aesthetic conventions. CPU responds by proposing governance routines such as perceptual audits, simulation-based review checkpoints, inclusive design specifications for vendors, and post-implementation monitoring of wayfinding performance. In CPU terms, smart-city success should be evaluated by whether citizens can interpret signals quickly, confidently, and safely, not only by whether systems can optimize flows.

The CPU framework also clarifies what “human-centered” means in measurable terms. Human-centeredness is operationalized as (a) perceptual clarity, meaning that key cues can be distinguished under common variations in vision and attention; (b) cognitive economy, meaning that routine tasks such as navigation, transfer, and hazard recognition require minimal working-memory effort; and (c) emotional comfort, meaning that environments reduce avoidable uncertainty and stress at moments of choice. These criteria translate ethical intent into actionable thresholds and design requirements. Methodologically, the AI simulation component is treated as an evidence generator rather than a substitute for participatory engagement. Simulations make hidden inequities visible, but they must be interpreted within social context, cultural signage conventions, and language realities. CPU therefore positions simulation outputs as inputs to deliberation: a way to prioritize interventions, compare alternatives, and document compliance with perceptual justice standards. In practical terms, CPU supports the creation of perceptual baselines (what counts as “clear enough”), accountability protocols (who checks and when), and adaptive maintenance (how systems stay legible as the city changes). In the Bangkok illustration, this approach implies that transport authorities and designers can shift from ad hoc fixes to systematic governance. Instead of redesigning maps only after complaints, CPU recommends periodic perceptual audits of routes, stations, and digital interfaces; stress-sensitive analysis of transfer nodes; and the use of multi-coded redundancies as baseline requirements. It also highlights that perceptual inclusivity is compatible with aesthetic quality: reducing reliance on color does not reduce design sophistication; it can enhance elegance by increasing clarity and hierarchy. To support replication, CPU proposes a transferable workflow: map the urban information system (signage, maps, interfaces); define target perceptual profiles (e.g. common CVD types); run simulations and compute legibility metrics (contrast, discriminability, hierarchy); identify high-risk decision points; redesign using multi-coded cues; and re-test until thresholds are met. This workflow can be embedded in procurement, design review, and maintenance cycles so that perceptual justice becomes routine rather than exceptional. Finally, CPU extends the smart-city agenda by introducing the notion of “urban empathy” as a capacity that can be designed, tested, and improved. Urban empathy here is not a metaphorical virtue; it is the measurable ability of a city to anticipate how different residents perceive signals, to detect when communication fails, and to adapt infrastructures accordingly. This capacity becomes increasingly important as cities deploy AI-driven services at scale, because minor perceptual exclusions can be amplified across platforms and networks. Taken together, CPU reorients innovation toward clarity, reduces preventable cognitive strain, and meaningfully widens participation in everyday urban life.

Beyond the specific case of CVD, the analytical strength of CPU lies in its capacity to reconceptualize urban governance as a continuous feedback system between perception, cognition, and infrastructure. Traditional planning cycles often treat design as a finalized output, evaluated primarily through technical performance indicators or post-occupancy satisfaction surveys. CPU instead proposes that perceptual legibility and cognitive equity be embedded as dynamic variables within urban management systems. This implies that cities must monitor not only traffic flows or energy consumption, but also the interpretability of their informational environments. Perceptual breakdowns—moments where users hesitate, misinterpret, or avoid spatial cues—should be treated as diagnostic signals comparable to infrastructural failures. In this expanded model, smart governance incorporates perceptual analytics as part of routine urban maintenance. By institutionalizing perceptual review mechanisms, cities can proactively detect emerging inequities caused by new technologies, branding changes, interface updates, or increased visual density. Such an approach aligns technological innovation with human adaptability rather than forcing citizens to continuously adjust to shifting informational logics. CPU therefore establishes a governance philosophy in which inclusion is not retrofitted but designed into the evolutionary trajectory of smart systems. Through this lens, perceptual justice becomes a long-term regulatory commitment rather than a one-time design intervention, reinforcing the structural integration of cognitive sustainability within future urban transformations

Conclusion: The study concludes that Cognitive Perception-Based Urbanism (CPU) constitutes both a theoretical advancement and a practical policy tool for future smart cities. By merging neuroscientific knowledge, perceptual justice principles, and AI-based representation, CPU establishes a new paradigm of cognitive sustainability, in which technological progress is harmonized with human perceptual well-being. The Bangkok case demonstrates CPU's applicability and future scalability to other dimensions of sensory diversity, including autism-related hypersensitivity, low vision, auditory variation, and neurodivergent processing styles. CPU reframes smart-city intelligence as a form of urban empathy—the ability of a city to sense, understand, and adapt to its residents' perceptual realities. As a governance tool, CPU promotes perceptually informed policymaking, enabling cities to become more emotionally resonant, cognitively resilient, and perceptually just environments for all.

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the manuscript. All authors approved the submitted version of the article and agree with all aspects of the work.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments: We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.

Highlight

- The research redefines urban smartness from technological efficiency toward cognitive perceptual alignment.
- It introduces the theoretical framework of the Cognitive Perception Centered Urbanism (CPU) integrating neuro urbanism and perceptual justice.
- It conceptualizes perceptual justice as the third dimension of urban justice alongside spatial and social equity.



This paper is an open access and licenced under the [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) licence.

©2025 ,UST.All rights reserved.

Cite this article: Sanjabie, F., Dehghan Tooran Poshti, A., Naderi, S.M. (2026). CPU Framework: Integrating Neuro-Urbanism and AI Toward Inclusive Smart Cities for the Color Vision Deficient. *Urban Strategic Thought*, 4(1(7)), 24-40.



<https://doi.org/10.30479/ust.2026.22913.1234>

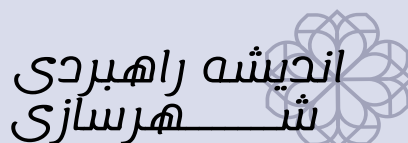


https://ut.journals.ikiu.ac.ir/article_4091.html



*. Corresponding Author (Email: A.dehghan@wtiau.ac.ir) / (Phone: +989121382738)

This article is taken from the doctoral thesis of the first author with the title “Developing an Urban Landscape Design Framework for Color-Blind Individuals: A Case Study of the Enghelab Sports Complex” which was guided by the second author and the advice of the third author has been defended at the Islamic Azad University, Tehran West Branch.



شاپای الکترونیک: ۲۹۸۱-۱۷۹۱



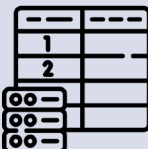
ناشر: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

مقاله علمی-پژوهشی

چارچوب CPU: تلفیق نورواوربانیسم و هوش مصنوعی در جهت شهرهای هوشمند فراگیر برای افراد دارای کوررنگی

فائزه سنجابی^(۱)، عاطفه دهقان توران پشته^{(۲)*}، سید مجید نادری^(۳)

- ۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.
- ۲- دکتری تخصصی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.
- ۳- دکتری تخصصی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده فارسی	Simple English Abstract
دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱ صص: ۴۰-۲۴ واژگان کلیدی: شهرهای هوشمند، عدالت ادراکی، کوررنگی، نورواوربانیسم.  تعداد منابع: ۳۲  تعداد اشکال: ۱  تعداد جداول: ۱	مقدمه: این پژوهش چارچوب نظری-مفهومی «شهر ادراک محور شناختی» (CPU) را معرفی می‌کند؛ رویکردی که نورواوربانیسم، عدالت ادراکی و هوش مصنوعی را در قالب مدلی برای شهرهای هوشمند انسان محور یکپارچه می‌سازد. در شرایطی که شهرها زیر فشار دیجیتالی شدن و تراکم حسی قرار دارند، الگوهای رایج بیشتر بر کارایی متمرکزند تا تجربه انسانی. CPU این عدم توازن را به چالش می‌کشد و شهر را یک اکوسیستم شناختی-ادراکی می‌داند که در تعامل با ادراک و احساس انسان شکل می‌گیرد. این چارچوب تأکید می‌کند که هوشمندی واقعی زمانی محقق می‌شود که فناوری با نیازهای ادراکی و شناختی شهروندان هم‌سو شود. هدف پژوهش: هدف اصلی این مطالعه، توضیح، تبیین و عملیاتی‌سازی چارچوب CPU به‌عنوان پلی میان ادراک انسانی و فناوری شهری است. انتخاب «اختلال دید رنگی» (CVD) به‌عنوان مطالعه موردی، نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تنوع حسی و ادراکی را به‌طور نظام‌مند وارد طراحی شهر هوشمند کرد. این پژوهش خلأ های نظری و سیاستی میان علوم اعصاب، عدالت ادراکی و تحلیل‌های هوش مصنوعی را پر کرده و مسیر جدیدی برای حکمرانی فراگیر و روان حامی ارائه می‌دهد. روش‌شناسی: روش پژوهش نظری-مفهومی است و بر مرور انتقادی منابع، ادغام بینارشته‌ای و تحلیل مقایسه‌ای مبتنی است. سپس چارچوب CPU از طریق مطالعه شهر بانکوک- شهری متکی بر گردشگری رنگی و اشباع بصری- آزمون می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی ادراکی مبتنی بر هوش مصنوعی و یافته‌های نورواوربانیسم درباره استرس و بار شناختی، نحوه تجربه محیط برای افراد دارای اختلال دید رنگی تحلیل شده است. یافته‌ها و بحث: نتایج نشان می‌دهد که الگوهای هوشمندسازی همچنان تکنوکراتیک‌اند و تجربه ادراکی شهروندان را نادیده	Introduction: This study introduces the theoretical-conceptual framework of “Cognitive Perception-Based Urbanism” (CPU), an approach that integrates neuro-urbanism, perceptual justice, and artificial intelligence into a unified model for human-centered smart cities. At a time when cities are under pressure from digitalization and sensory density, dominant models tend to prioritize efficiency over human experience. CPU challenges this imbalance by conceptualizing the city as a cognitive-perceptual ecosystem shaped through continuous interaction with human perception and emotion. The framework argues that genuine urban intelligence is realized only when technological systems are aligned with the perceptual and cognitive needs of citizens. Research Objective: The primary aim of this study is to explicate, articulate, and operationalize the CPU framework as a bridge between human perception and urban technology. The selection of “Color Vision Deficiency” (CVD) as a case study demonstrates how sensory and perceptual diversity can be systematically embedded within smart city design. The research addresses theoretical and policy gaps between neuroscience, perceptual justice, and AI-driven analytics, offering a new pathway toward inclusive and psychologically supportive urban governance. Methodology: The research adopts a theoretical-conceptual approach grounded in critical literature review, interdisciplinary integration, and comparative analysis. The CPU framework is then examined through a case study of Bangkok—a city heavily reliant on color-coding and visual saturation. Using AI-based perceptual simulation alongside neurourbanism findings on stress and cognitive load, the study analyzes how urban environments are experienced by individuals

Simple English Abstract	چکیده فارسی	اطلاعات مقاله
with color vision deficiency. Findings and Discussion: The findings indicate that prevailing smart urbanization models remain largely technocratic, overlooking the perceptual experiences of citizens. CPU proposes three complementary pillars: 1. Neurourbanism and the impact of environment on the brain; 2. Perceptual justice as an emergent dimension of urban justice; 3. Artificial intelligence as an intermediary tool for modeling perceptual differences and generating predictive solutions. The Bangkok case demonstrates that multi-coded elements, adaptive lighting, and contrast optimization can enhance environmental legibility and psychological comfort. Conclusion: CPU is not merely a theoretical construct but also a policy-oriented and strategic instrument for achieving “cognitive sustainability” in future cities. By establishing evaluation indicators, design guidelines, and governance mechanisms, the framework ensures that technology serves perception, emotion, mental health, and human dignity.	می‌گیرند. CPU سه ستون مکمل ارائه می‌دهد: (۱) نورواوربانیسم و تأثیر محیط بر مغز؛ (۲) عدالت ادراکی به‌عنوان بُعد تازه‌ای از عدالت شهری؛ (۳) هوش مصنوعی به‌عنوان واسطی برای مدل‌سازی تفاوت‌های ادراکی و ارائه راهکارهای پیش‌بینانه. مطالعه بانکوک نشان می‌دهد عناصر چندگدی، نورپردازی تطبیقی، و بهینه‌سازی کنتراست می‌توانند خوانایی و راحتی روانی را افزایش دهند. نتیجه‌گیری: CPU نه تنها چارچوبی نظری، بلکه ابزاری سیاست‌گذارانه و راهبردی برای تحقق «پایداری شناختی» در شهرهای آینده است؛ رویکردی که با تدوین شاخص‌های ارزیابی، راهنماهای طراحی و سازوکارهای حکمرانی، تضمین می‌کند فناوری در خدمت ادراک، احساس، سلامت روان و کرامت انسانی قرار گیرد.	 با استفاده از دستگاه خود رمزینه را جهت مطالعه مقاله اسکن فرمایید.

نکات برجسته:

- پژوهش هوشمندی شهری از کارایی فناوریانه به هم‌ترازی شناختی-ادراکی را بازتعریف می‌کند.
- این پژوهش چارچوب نظری شهر ادراک‌محور شناختی (CPU) برای تلفیق نورواوربانیسم و عدالت ادراکی را معرفی می‌کند.
- عدالت ادراکی به‌عنوان بُعد سوم عدالت شهری در کنار عدالت فضایی و اجتماعی قرار می‌گیرد.

ارجاع به این مقاله: سنجابی، فائزه؛ دهقان توران پشته، عاطفه؛ نادری، سید مجید. (۱۴۰۴). چارچوب CPU: تلفیق نورواوربانیسم و هوش مصنوعی در جهت شهرهای هوشمند فراگیر برای افراد دارای کوررنگی. *اندیشه راهبردی شهرسازی*، ۱۱(۷)، ۲۴-۴۰.



این مقاله به صورت دسترسی باز و با مجوز Creative Commons CC BY-NC 4.0 قابل استفاده است.

©2025, UST. All rights reserved.

 <https://doi.org/10.30479/ust.2026.22913.1234>



* نویسنده مسئول (رایانامه: A.dehghan@wtiau.ac.ir) / (تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۱۳۸۲۷۳۸)
این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست اول با عنوان «تبیین چارچوب طراحی منظر شهری برای افراد کوررنگ، نمونه موردی: مجموعه ورزشی انقلاب» است که با راهنمایی دکتر عاطفه دهقان توران پشته و مشاوره سیدمجید نادری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب در حال انجام است.

۱- مقدمه و بیان مسئله

روند فزاینده شهرنشینی در دهه‌های اخیر موجب شده است شهرها به محیط‌هایی چندلایه و پیچیده تبدیل شوند که در آن محرک‌های محیطی، نشانه‌های بصری، تراکم اطلاعات و فشارهای روانی به‌طور مستقیم بر فرایندهای ادراکی و شناختی شهروندان اثر می‌گذارند.

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد (United Nations, 2018)، بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند که این امر فشارهای شناختی و محیطی را تشدید کرده است.

بر اساس مطالعات اخیر، محرک‌هایی نظیر تراکم بالا، نویز شهری، نور مصنوعی و نبود ساختارهای طبیعی می‌توانند الگوهای فعالیت شبکه‌های عصبی از جمله آمیگدالا و قشر پیش‌پیشانی را تغییر داده و سطح استرس و بار شناختی افراد را افزایش دهند (Lederbogen et al., 2017; Adli et al., 2011). این یافته‌ها نشان می‌دهد که تجربه شهری تنها محصول کالبد یا کارکرد نیست، بلکه بخشی از آن در لایه‌های عمیق‌تری از پردازش مغزی و شناخت انسان شکل می‌گیرد.

در چنین بستری، رویکرد شهر هوشمند طی دهه گذشته با هدف ارتقای کارایی و مدیریت داده‌محور مطرح شد؛ اما بخش عمده ادبیات آن هنوز بر زیرساخت، فناوری و الگوریتم تأکید کرده و انسان را با فرض «توان ادراکی یکنواخت» در نظر گرفته است (Albino et al., 2015; Komninos, 2014). نتیجه این رویکرد آن است که در طراحی بسیاری از سامانه‌های شهری، تنوع ادراکی و شناختی شهروندان نادیده گرفته می‌شود و این امر می‌تواند به شکل‌گیری نوعی نابرابری جدید در نحوه تجربه و فهم فضا منجر شود.

نظریه‌های عدالت شهری نیز در طول سال‌های گذشته عمدتاً بر توزیع منابع، خدمات و فرصت‌ها متمرکز بوده‌اند (Harvey, 2008; Fainstein, 2014) و کمتر به این پرسش پرداخته‌اند که آیا همه افراد به‌صورت برابر قادر به دریافت و رمزگشایی اطلاعات محیطی هستند یا خیر. این وضعیت سبب شده است «عدالت ادراکی» یعنی برابری در کیفیت دریافت، فهم و تفسیر نشانه‌های محیطی به‌عنوان یکی از ابعاد مغفول عدالت شهری باقی بماند (Smith & Imrie, 2022).

برای روشن‌تر شدن ابعاد این خلأ، پژوهش حاضر از کوررنگی^۱ به‌عنوان یک مطالعه نمونه بهره می‌گیرد.

کوررنگی که حدود ۸ درصد مردان را درگیر می‌کند (Simunovic, 2010)، نشان می‌دهد چگونه تفاوت ادراکی می‌تواند در محیط‌های مبتنی بر رمزگذاری رنگ موجب افزایش بار شناختی، کاهش خوانایی، خطای تصمیم‌گیری و اختلال در جهت‌یابی شود (Cole, 2004). این مسئله بیان می‌کند که نابرابری ادراکی اغلب محصول «طراحی ناعادلانه» است، نه ویژگی فردی.

با توجه به این شکاف‌های نظری و کاربردی، این پژوهش چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی»^۲ را ارائه می‌دهد. شهر ادراک‌محور شناختی تلاش می‌کند سه حوزه مستقل - نورواوربانیسم به‌عنوان بنیان شناختی، عدالت ادراکی به‌عنوان بنیان هنجاری، و فناوری‌های داده‌محور به‌ویژه هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار اجرایی - را در یک مدل مفهومی یکپارچه گردآوری کند (Tost et al., 2023; Tekin & Dikmen, 2024). در این چارچوب، شهر به‌عنوان «سامانه‌ای ادراکی-شناختی» در نظر گرفته می‌شود که کیفیت آن باید بر اساس توان تمایز نشانه‌ها، میزان بار شناختی، و سطح خوانایی و امنیت ادراکی برای گروه‌های مختلف سنجیده شود؛ نه صرفاً بر اساس کارایی زیرساخت یا حجم داده‌های پردازش‌شده.

بنابراین مسئله اصلی پژوهش چنین طرح می‌شود: چگونه می‌توان از طریق ادغام علوم اعصاب محیطی، عدالت ادراکی و ابزارهای هوش مصنوعی، مفهوم شهر هوشمند را از یک الگوی صرفاً فناورانه به الگوی انسان‌محور ارتقا داد؟ چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی پاسخی نظری و کاربردی به این پرسش است و هدف آن تبیین و سنجش نقش تفاوت‌های ادراکی در تجربه و تصمیم‌گیری شهری است.

۲- هدف و سؤالات پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، توسعه و تبیین چارچوب نظری و عملی «شهر ادراک‌محور شناختی» (CPU) است؛ چارچوبی که می‌تواند مبنایی برای بازتعریف هوشمندی شهری در قرن بیست‌ویکم و گذار از رویکردهای صرفاً فناورانه به الگوهای انسان‌محور فراهم سازد. با توجه به شکاف‌های نظری شناسایی‌شده در ادبیات از جمله عدم پیوند میان نورواوربانیسم و سیاست‌گذاری، غیبت عدالت ادراکی در نظریه‌های عدالت شهری، و محدودیت دیدگاه‌های فناورانه در شهر

هوشمند_ این پژوهش در پی آن است که چارچوبی یکپارچه برای تحلیل و اجرای سیاست‌های شهری مبتنی بر تفاوت‌های ادراکی ارائه دهد.

بر این اساس، پرسش‌های پژوهش به صورت زیر طرح می‌شوند:

(۱) چگونه می‌توان اصول نورواوربانسیسم را به سیاست‌های

طراحی و حکمرانی شهری ترجمه کرد؟

(۲) عدالت ادراکی چه نقشی در تحقق شهر هوشمند انسان‌محور دارد؟

(۳) به چه شیوه‌ای می‌توان با بهره‌گیری از هوش مصنوعی،

تجربه ادراکی گروه‌های مختلف شهروندان را

شبیه‌سازی و در فرآیند طراحی شهری لحاظ کرد؟

(۴) آیا چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی می‌تواند در

عمل به کاهش نابرابری‌های ادراکی در محیط شهری

منجر شود؟

چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی بر این پیش‌فرض

استوار است که شهر هوشمند پایدار تنها زمانی عادلانه است

که به موازات داده، زیرساخت و کارایی، برای ذهن، ادراک

و شناخت انسان نیز طراحی شود. این چارچوب سه ستون

مفهومی را در یک نظام تحلیلی به هم پیوند می‌دهد:

• **نورواوربانسیسم:** دانش پایه برای فهم اثرات محیط

شهری بر مغز، رفتار و پردازش شناختی؛

• **عدالت ادراکی:** هنجار طراحی و برنامه‌ریزی برای

تضمین تجربه برابر از فضا، مستقل از تفاوت‌های حسی

و ادراکی؛

• **هوش مصنوعی:** ابزار داده‌محور برای شبیه‌سازی،

تحلیل و ارزیابی تجربه‌های ادراکی پیش از اجرا و

کاهش خطای طراحی.

در این مقاله، ابتدا مبانی نظری شهر ادراک‌محور

شناختی تشریح می‌شود، سپس از کوررنکی_ به عنوان

نمونه‌ای شاخص از تفاوت‌های ادراکی_ برای ارزیابی

کارآمدی عملی آن استفاده می‌گردد. در ادامه، شهر بانکوک

به عنوان مطالعه موردی انتخاب می‌شود تا قابلیت اجرایی

شهر ادراک‌محور شناختی در یک کلان‌شهر واقعی و

پرمحرک بررسی شود.

چنان‌که گهل (Gehl, 2011) تأکید می‌کند، شهر

مطلوب تنها بر پایه ساختمان و زیرساخت تعریف نمی‌شود،

بلکه بر کیفیت تجربه انسانی استوار است؛ شهری که در

آن «زندگی جریان دارد» نه صرفاً «اطلاعات». چارچوب

شهر ادراک‌محور شناختی نیز با همین رویکرد تلاش

می‌کند شهر را نه به مثابه شبکه‌ای از حسگرها، بلکه

به عنوان شبکه‌ای از ادراک‌های انسانی بازخوانی کند؛

شهری که کارآمد باشد، اما در عین حال قابل فهم، آرام و

از نظر ادراکی عادلانه.

۳- ادبیات و مبانی نظری پژوهش

۳-۱- شهر هوشمند: غلبه رویکرد فناورانه و غیبت

لایه ادراکی

ادبیات اولیه شهر هوشمند عمدتاً با تمرکز بر فناوری،

زیرساخت‌های ICT^۸ و مدیریت داده‌محور شکل گرفت. در

این رویکرد، کارایی عملیاتی و اتوماسیون خدمات شهری

محور تحلیل قرار دارد و انسان به صورت «کاربر نهایی» فرض

می‌شود؛ کاربری که توان ادراک و پردازش او ثابت و یکسان

در نظر گرفته شده است (Albino et al., 2015; Komninos, 2014).

این فرض ضمن آن‌که تنوع ادراکی

شهروندان را نادیده می‌گیرد، مانع ورود کیفیت تجربه ادراک

محیط به سطح تصمیم‌سازی شهری می‌شود.

مطالعات انتقادی اخیر نشان داده‌اند که بسیاری از

سیستم‌های هوشمندسازی— از نقشه‌های حمل‌ونقل تا

علائم شهری— به دلیل طراحی مبتنی بر یک الگوی

ادراکی واحد، در عمل نوعی «نابرابری ادراکی» ایجاد

می‌کنند و گروه‌هایی از شهروندان را در دریافت مؤثر

اطلاعات محروم می‌سازند (Smith & Imrie, 2022).

بنابراین، ضعف بنیادین ادبیات شهر هوشمند در فقدان لایه

ادراکی—شناختی است؛ لایه‌ای که اساساً برای فهم شهر

ادراک‌محور شناختی اهمیت دارد.

۳-۲- نورواوربانسیسم: شواهد قوی درباره اثرات محیط

شهری بر مغز

نورواوربانسیسم در یک دهه اخیر به عنوان حوزه‌ای

میان‌رشته‌ای نشان داده است که محرک‌های شهری می‌توانند

فرایندهای عصبی مرتبط با استرس، توجه، تنظیم هیجان و

پردازش اجتماعی را تغییر دهند (Lederbogen et al., 2011; Adli et al., 2017).

مطالعات جدیدتر نیز نشان

می‌دهند که تراکم بصری، شلوغی، نور مصنوعی و کمبود

ساختارهای طبیعی توانایی پردازش شناختی را کاهش داده و

موجب فعال‌شدن مسیرهای عصبی مرتبط با استرس می‌شوند

(Tost et al., 2023).

مطالعات نشان داده‌اند که افراد دارای اختلال دید رنگی در محیط‌های رنگ‌محور دچار خطاهای تشخیص، افزایش بار شناختی، کاهش سرعت واکنش و کاهش دقت جهت‌یابی می‌شوند (Cole, 2004). بنابراین، نه یک مشکل فردی، بلکه نشانه‌ای از عواقب طراحی ناآگاه به تفاوت‌های ادراکی است.

استفاده از اختلال دید رنگی در این پژوهش به‌عنوان «نمونه آزمون مفهومی» انتخابی آگاهانه است؛ زیرا:

- شیوع کافی دارد،
- اثرات آن قابل سنجش و شبیه‌سازی است،
- و به خوبی می‌تواند نشان دهد که چگونه طراحی شهری می‌تواند نابرابری ادراکی تولید کند.

۳-۵- هوش مصنوعی: ابزار بالقوه برای سنجش و شبیه‌سازی تجربه ادراکی

در ادبیات شهر هوشمند، نقش هوش مصنوعی عمدتاً به ارتقای کارایی محدود شده است؛ مانند مدیریت ترافیک، انرژی یا تحلیل داده‌های محیطی (Batty, 2018). درحالی که یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های هوش مصنوعی، یعنی توانایی شبیه‌سازی تجربه ادراکی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

پیشرفت‌های اخیر در بینایی ماشین و مدل‌های پردازش تصویر نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند:

- خطاهای ادراکی گروه‌های مختلف را شبیه‌سازی کند،
- میزان خوانایی و تمایزپذیری نشانه‌ها را اندازه‌گیری کند،
- بار شناختی ناشی از طراحی فضا را پیش‌بینی کند (Zhang & Lin, 2023; Tekin & Dikmen, 2024).

این ظرفیت، هوش مصنوعی را از «ابزار مدیریت شهری» به «ابزار عدالت ادراکی» ارتقا می‌دهد و نقش آن را در چهارچوب شهر ادراک‌محور شناختی متمایز می‌سازد.

۳-۶- جمع‌بندی انتقادی: ضرورت ترکیب سه حوزه در چهارچوب شهر ادراک‌محور شناختی

مرور انتقادی ادبیات نشان می‌دهد:

- شهر هوشمند فاقد لایه تحلیلی ادراک و شناخت است؛
- نورواوربانیسم فاقد مسیر اجرایی برای ترجمه یافته‌های عصبی است؛
- عدالت ادراکی فاقد تعریف مفهومی و ابزار سنجش است؛

با وجود قدرت تجربی این شواهد، ادبیات نورواوربانیسم هنوز فاقد مدلی کاربردی برای ترجمه این یافته‌ها به طراحی شهری است. به عبارت دیگر، فاصله میان «دانش عصبی» و «سیاست شهری» برقرار است. همین خلأ یکی از دلایلی است که چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی تلاش می‌کند نورواوربانیسم را از سطح آزمایشگاهی به سطح تحلیل عملیاتی وارد کند.

۳-۳- عدالت شهری و ضرورت طرح مفهوم عدالت ادراکی

نظریه‌های کلاسیک عدالت شهری، عدالت را در سطح توزیع خدمات، دسترسی و حقوق فضایی تحلیل کرده‌اند (Harvey, 2008; Fainstein, 2014). هر چند این نظریات مبانی ارزشمند عدالت شهری را تبیین کرده‌اند، اما پرسش کلیدی «آیا همه افراد به‌صورت برابر قادر به دریافت، تفسیر و فهم نشانه‌های محیطی هستند؟» همچنان بی‌پاسخ مانده است.

ادبیات جدید در حوزه «نابرابری حسی و ادراکی» نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از بی‌عدالتی‌های شهری ناشی از تفاوت‌های ادراکی و شناختی است، نه صرفاً تفاوت در دسترسی فیزیکی (Smith & Imrie, 2022). با وجود این، مفهوم «عدالت ادراکی» هنوز صورت‌بندی نظری دقیقی ندارد:

- تعریف‌های آن پراکنده است،
- شاخص‌های سنجش آن ارائه نشده،
- و جایگاه آن در مدل‌های برنامه‌ریزی شهری مبهم است. این خلأ هنجاری یکی از نقاطی است که چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی در پی تکمیل آن است.

۳-۴- کوررنگی (CVD): نمونه‌ای تجربی از نابرابری ادراکی در شهر

کوررنگی یکی از شایع‌ترین تفاوت‌های ادراکی است که حدود ۸ درصد مردان و ۰.۵ درصد زنان را درگیر می‌کند (Simunovic, 2010). اهمیت این تفاوت زمانی آشکار می‌شود که بدانیم بخش قابل توجهی از سامانه‌های شهری از نقشه‌های مترو و تابلوهای راهنمایی تا سامانه‌های دیجیتال بر پایه رمزگذاری رنگ طراحی شده‌اند.

در پژوهش‌های جدید نورواوربانیسم، پیامدهای سیاستی این رویکرد در شهرهای خاورمیانه نیز مورد توجه قرار گرفته است (Abed, 2025).

- اختلال دید رنگی نمونه‌ای است که نشان می‌دهد طراحی شهری چگونه می‌تواند نابرابری ادراکی ایجاد کند؛
- هوش مصنوعی ابزاری است که می‌تواند این تفاوت ادراکی را شبیه‌سازی و تحلیل کند.
- ترکیب این شکاف‌ها ضرورت توسعه چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» را توضیح می‌دهد؛ چارچوبی که تلاش می‌کند رابطه میان فناوری، ادراک، و عدالت را در یک دستگاه نظری منسجم بازتعریف کند.

مدل مفهومی شهر ادراک‌محور شناختی

مدل شهر ادراک‌محور شناختی بر این فرض استوار است که کیفیت تجربه شهری از سه مسیر متقاطع شکل می‌گیرد: شناخت، ادراک و فناوری. در این مدل، ورودی‌ها از سوی محیط شهری^۳ وارد سامانه ادراکی انسان می‌شود؛ این ورودی‌ها در سطح عصبی پردازش می‌شوند، و خروجی آن تجربه شهری است.

مدل دارای چهار لایه است:

❖ لایه ۱: ورودی‌های محیطی^۴

- تراکم بصری
- نشانه‌های رنگی
- تابلوها و مسیرنماها
- نویز، نور مصنوعی، آشفستگی محیطی
- کیفیت فضاهای پیاده، زیرساخت حمل‌ونقل
- این ورودی‌ها به لایه شناختی منتقل می‌شوند.
- ❖ لایه ۲: پردازش شناختی- ادراکی^۵
- این لایه توسط نور و اوربانیزم تعریف می‌شود:
- بار شناختی^۶
- تمایزپذیری^۷
- خوانایی ادراکی^۸
- توجه و حافظه کاری
- واکنش عصبی به استرس شهری
- تفاوت‌های ادراکی مانند اختلال دید رنگی، اختلال نقص توجه، یا اضطراب محیطی در این لایه ظاهر می‌شوند.
- ❖ لایه ۳: عدالت ادراکی^۹
- این لایه تعیین می‌کند آیا تجربه گروه‌های مختلف منصفانه و برابر است:

- دسترسی ادراکی برابر در فضاهای عمومی
- اگر نابرابری وجود داشته باشد، به لایه چهارم منتقل می‌شود.
- ❖ لایه ۴: لایه اجرایی هوش مصنوعی^{۱۰}
- هوش مصنوعی نقش «مترجم و ارزیاب ادراکی» را دارد:
- شبیه‌سازی شرایط اختلال دید رنگی
- ارزیابی خوانایی و تمایزپذیری
- تحلیل تصویری و مدل‌های دید ماشینی
- پیش‌بینی خطاهای ادراکی
- پیشنهاد طراحی اصلاح‌شده
- این لایه خروجی سیاستی تولید می‌کند.

خروجی نهایی مدل^{۱۱}

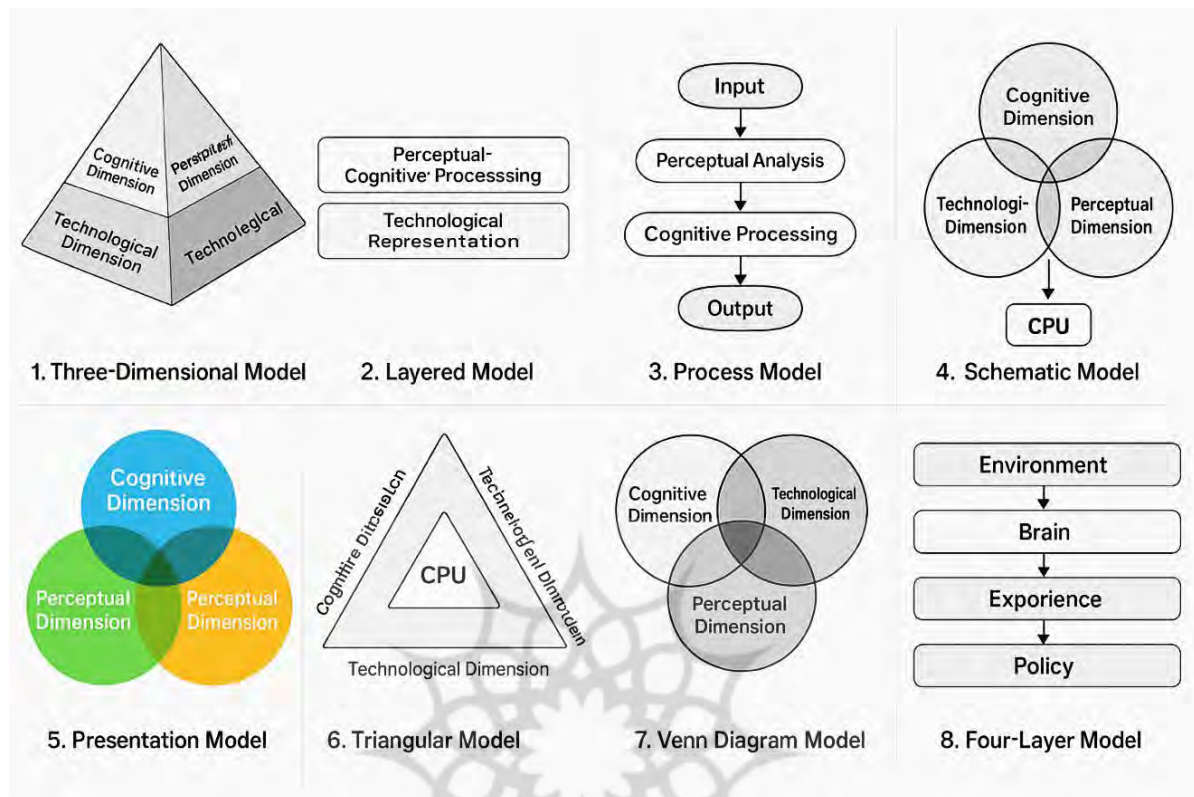
- طراحی شهری ادراک‌محور
 - استانداردهای خوانایی برای نقشه‌ها و تابلوها
 - ارزیابی ادراکی پروژه‌ها قبل از اجرا
 - کاهش نابرابری‌های ادراکی
 - ارتقای تجربه شهری برای همه گروه‌ها
- چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» یا CPU شهر را به‌عنوان یک سیستم ادراکی-شناختی در نظر می‌گیرد؛ سیستمی که در آن محرک‌های محیطی، پردازش عصبی-شناختی، تجربه ادراکی و بازنمایی فناورانه در تعامل با یکدیگر، کیفیت زیست شهری و عدالت ادراکی را شکل می‌دهند. در این رویکرد، شهر نه فقط مجموعه‌ای از زیرساخت‌های فیزیکی یا داده‌محور، بلکه یک محیط شناختی پیچیده است که بر ذهن، ادراک و تصمیم‌گیری انسان تأثیر می‌گذارد.

شهر ادراک‌محور شناختی سه بُعد بنیادین را یکپارچه می‌کند:

- بُعد شناختی که به بار شناختی، پردازش عصبی، توجه و واکنش ذهن به محرک‌های شهری می‌پردازد؛
 - بُعد ادراکی که بر خوانایی، تمایزپذیری، دقت ادراک و عدالت حسی-شناختی تمرکز دارد؛
 - بُعد فناورانه که ابزارهایی مانند شبیه‌سازی ادراکی، بینایی ماشین و دوقلوهای دیجیتال را برای ارزیابی تجربه گروه‌های مختلف فراهم می‌کند.
- هسته اصلی شهر ادراک‌محور شناختی از یک سازوکار مشترک تشکیل می‌شود:

ادراک و پردازش شناختی و بازنمایی فناورانه. این مکانیزم نشان می‌دهد که چگونه تجربه انسانی می‌تواند به

زبان قابل ارزیابی برای سیاست‌گذاری و طراحی شهری تبدیل شود.



شکل ۱. چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» مدل ادغام‌شده برای شهر انسان‌محور هوشمند (صرفاً عکس تولید شده توسط هوش مصنوعی)

شناختی» انجام شده است. روش تحقیق بر ترکیب سه مسیر موازی استوار است:

- (۱) مرور نظام‌مند-انتقادی ادبیات،
 - (۲) تحلیل مفهومی و تلفیقی،
 - (۳) آزمون مفهومی با استفاده از مطالعه نمونه‌ای کوررنگی و تحلیل ثانویه شهر بانکوک.
- هر سه مسیر با یکدیگر تعامل داشته و در نهایت به استخراج مدل مفهومی شهر ادراک‌محور شناختی منجر شده‌اند.

۴-۱- مرحله نخست: مرور نظام‌مند-انتقادی ادبیات

در این مرحله، منابع علمی در چهار حوزه اصلی شامل نوروایرانیسم، عدالت شهری و نابرابری ادراکی، رویکردهای شهر هوشمند، و مطالعات ادراک رنگ (اختلال دید رنگی) مورد بررسی قرار گرفتند.

هشت مدل بصری ارائه‌شده شامل مدل سه‌بعدی، مدل لایه‌ای، مدل فرآیندی، مدل مینیمال برای ژورنال، مدل رنگی برای کنفرانس، مدل مثلثی، مدل وندیاگرام و مدل چهارلایه محیط-مغز-تجربه-سیاست در واقع صورت‌های مختلف نمایش همین چارچوب واحد هستند. هر یک از این مدل‌ها جنبه‌ای از منطق درونی شهر ادراک‌محور شناختی را برجسته می‌کند و به فهم بهتر نقش ادراک و شناخت در برنامه‌ریزی شهری کمک می‌کند. در کنار هم، این مجموعه نشان می‌دهد که شهر هوشمند زمانی «انسان‌محور» خواهد بود که طراحی و حکمرانی آن بر اساس تنوع ادراکی و توان شناختی شهروندان تنظیم شود.

۴- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع تحلیل نظری-ترکیبی است و با هدف توسعه چارچوب مفهومی «شهر ادراک‌محور

- قابلیت شبیه‌سازی دقیق با استفاده از مدل‌های بینایی ماشین،
- وابستگی شدید طراحی شهری به کدگذاری رنگ.
- در این مرحله، آثار اختلال دید رنگی بر خوانایی و تمایزپذیری نشانه‌های شهری با روش تحلیل مفهومی و بررسی شواهد تجربی موجود ارزیابی شد. این تحلیل نشان داد که اختلال دید رنگی نمونه‌ای روشن از «نابرابری ادراکی ناشی از طراحی» است و توانایی مدل شهر ادراک‌محور شناختی در تبیین این نابرابری را آشکار می‌کند.

ب) تحلیل ثانویه شهر مورد مطالعه بانکوک

انتخاب بانکوک به دو دلیل انجام شد:

- (۱) وابستگی گسترده زیرساخت‌های شهری، به‌خصوص سیستم حمل‌ونقل به رمزگذاری رنگ،
- (۲) وجود داده‌های رسمی و گزارش‌های مستند درباره سردرگمی افراد دارای اختلال دید رنگی در شبکه حمل‌ونقل.

در این مرحله از داده‌های ثانویه موجود (گزارش‌های حمل‌ونقل، مطالعات ادراک رنگ در سامانه حمل‌ونقل انبوه بانکوک، اسناد طراحی رنگ‌محور) استفاده شد تا مشخص شود مدل شهر ادراک‌محور شناختی چگونه می‌تواند مشکل را توضیح دهد.

این تحلیل نشان داد:

- نقشه‌ها و خطوط مترو بانکوک نمونه‌ای واقعی از «شکست عدالت ادراکی» هستند،
- مدل شهر ادراک‌محور شناختی قادر است مسیر اثرگذاری ورودی‌های رنگ‌محور بر بار شناختی و تصمیم‌گیری را توضیح دهد، و
- لایه هوش مصنوعی (شبیه‌سازی اختلال دید رنگی) می‌تواند ابزار اصلاح طراحی باشد.

۴-۴- ابزارهای تحلیل و اعتبارسنجی نظری

از آنجا که پژوهش حاضر ماهیت نظری-تحلیلی دارد، ابزارها شامل:

- تحلیل مفهومی مبتنی بر ادبیات
- مقایسه تطبیقی شواهد
- شبیه‌سازی مفهومی^{۱۴}
- تطبیق ساختاری یافته‌ها با اجزای مدل
- اعتبار مدل نیز از طریق:
- سازگاری درونی مفاهیم
- استناد به شواهد نورواوربانیسم

جست‌وجوی منابع در پایگاه‌های Web of Science، Scopus و Google Scholar^{۲۶} با بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۴ انجام شد. واژگان کلیدی شامل موارد زیر بودند: *Neuro-urbanism, perceptual justice, cognitive load, smart city critique, color vision deficiency, machine vision*^{۲۷}

فرایند مرور ادبیات در سه گام انجام شد:

- (۱) غربال اولیه بر اساس عنوان و چکیده (۱۲۴ منبع)
 - (۲) انتخاب منابع مرتبط با متغیرهای کلیدی (۵۸ منبع)
 - (۳) نقد مفهومی و استخراج گسست‌های نظری
- هدف این مرحله صرفاً ارائه تعاریف نبود، بلکه شناسایی خلأهای نظری موجود بود؛ از جمله فقدان لایه ادراکی در شهر هوشمند، نبود شاخص‌های عدالت ادراکی، و فقدان مدل سیاستی در نورواوربانیسم.

۴-۲- مرحله دوم: تحلیل مفهومی و تلفیقی^{۱۲}

در این مرحله، مفاهیم استخراج‌شده از ادبیات در سه محور شناختی-ادراکی-فناورانه سازماندهی شدند. تحلیل مفهومی به روش Triangulation^{۲۹} انجام شد؛ یعنی:

- مفاهیم هر حوزه (نورواوربانیسم، عدالت ادراکی، هوش مصنوعی) به‌صورت مستقل تحلیل شدند،
 - نقاط اتصال میان آن‌ها شناسایی شد،
 - و در نهایت یک چارچوب واحد برای تبیین تجربه ادراکی در شهر هوشمند ساخته شد.
- این تحلیل منجر به تعریف رسمی سه مؤلفه اصلی شهر ادراک‌محور شناختی شد:

- (۱) بنیان شناختی (اثر محیط شهری بر پردازش ادراکی)
- (۲) بنیان هنجاری (عدالت ادراکی به‌عنوان معیار برابری)
- (۳) بنیان اجرایی (نقش هوش مصنوعی در سنجش و شبیه‌سازی)

خروجی این مرحله، ساختار نظری شهر ادراک‌محور شناختی و لایه‌های چهارگانه مدل مفهومی بود.

۴-۳- مرحله سوم: آزمون مفهومی^{۱۳}

برای سنجش توان تبیینی مدل شهر ادراک‌محور شناختی، از دو ابزار تحلیل بهره گرفته شد:

الف) مطالعه نمونه‌ای کوررنگی

انتخاب اختلال دید رنگی به دلیل سه ویژگی است:

- شیوع بالا در جمعیت (Simunovic, 2010)،

- آزمون‌پذیری در نمونه اختلال دید رنگی
- ظرفیت تعمیم‌پذیری مدل ارزیابی شده است.

۴-۵- جمع‌بندی روش‌شناسی

روش تحقیق به‌گونه‌ای طراحی شده که:

- از نظریه‌پردازی صرف فراتر رود،
 - اما نیاز به داده‌برداری میدانی نداشته باشد،
 - و بتواند به‌صورت دقیق نشان دهد چگونه «تفاوت‌های ادراکی» به «نابرابری شهری» تبدیل می‌شوند.
- این ساختار سه‌مرحله‌ای، پشتوانه نظری و تحلیلی لازم برای توسعه چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی را فراهم کرده است.

۵- چارچوب تحقیق

۵-۱- گذار مفهومی از شهر هوشمند فناورانه به شهر

شناختی-ادراکی

نخستین نسل شهرهای هوشمند عمدتاً بر کارکردهای فناورانه_ نظیر مدیریت ترافیک، انرژی و زیرساخت_ متمرکز بود و شهر را به‌مثابه سامانه‌ای مبتنی بر سنسور، داده و الگوریتم تصور می‌کرد (Albino et al., 2018; Batty, 2015). این رویکرد، علی‌رغم ارزش عملیاتی، یک محدودیت بنیادی دارد: فرض «سوژه یکنواخت» و بی‌توجهی به تنوع ادراکات، ظرفیت شناختی و تفاوت‌های حسی شهروندان. یافته‌های جدید نشان می‌دهد که این شکاف مفهومی، به خطاهای نظام‌مند در طراحی و سیاست‌گذاری منجر می‌شود و گروه‌های خاص را در تجربه شهر با نابرابری مواجه می‌سازد (Tekin & Dikmen, 2024).

چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» یا (CPU) با هدف پُر کردن این شکاف توسعه یافته است. این چارچوب بر تمایز میان سه سطح تحلیل تأکید می‌کند:

(۱) سطح محیطی-کالبدی^{۱۵}،

(۲) سطح پردازش عصبی-شناختی^{۱۶}،

(۳) سطح دریافت و تجربه ادراکی^{۱۷}.

از این منظر، شهر نه مجموعه‌ای از گره‌های فناورانه، بلکه محیطی است که ورودی‌های حسی به‌طور پیوسته توسط سامانه عصبی انسان پردازش می‌شود و پیامدهای مستقیم بر تصمیم‌گیری، خوانایی فضا و احساس امنیت دارد (Adli et al., 2017). بنابراین ضرورت دارد که

هوشمندسازی از سطح «بهینه‌سازی عملکرد» به سطح «تنظیم تجربه ادراکی» ارتقا یابد.

در بستر ایران نیز تلاش‌هایی برای تلفیق هوش مصنوعی و علوم شناختی در توسعه شهر هوشمند صورت گرفته است، اما این رویکردها عمدتاً در سطح فناورانه باقی مانده‌اند (Zand & Farahani, 2018).

۵-۲- ستون نخست شهر ادراک‌محور شناختی:

نورواوربانیسم و منطق زیست‌عصبی شهر

نورواوربانیسم مجموعه‌ای از مطالعات علوم اعصاب، روان‌شناسی محیطی و پزشکی شهری است که نشان می‌دهد محرک‌های شهری چگونه بر شبکه‌های عصبی انسان اثر می‌گذارند. پژوهش‌ها افزایش فعالیت آمیگدالا، قشر پیش‌پیشانی و شبکه‌های پردازش استرس اجتماعی را در مواجهه با محیط‌های پُرتراکم و پُرتحرک گزارش کرده‌اند (Lederbogen et al., 2011). این یافته‌ها بیانگر آن‌اند که شهر خود «عامل شناختی» است و کیفیت تجربه شهری محصول برهم‌کنش بین ویژگی‌های محیطی و سازوکارهای عصبی است.

با وجود این بدنه دانشی، فاصله میان مطالعات نوروساینس و طراحی شهری همچنان محسوس است و ترجمه عملیاتی این یافته‌ها به دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی محدود مانده است (Ancora et al., 2022). شهر ادراک‌محور شناختی این خلأ را از طریق ارائه سه مؤلفه عملیاتی پُر می‌کند:

۱- تحلیل بار شناختی: سنجش میزان پردازش لازم برای درک یک محیط، نشانه یا مسیر.

۲- تحلیل خوانایی عصبی: ارزیابی اثربخشی نشانه‌های بصری بر اساس الگوهای پردازش مغزی.

۳- تحلیل واکنش هیجانی-ادراکی: تعیین اینکه محیط چه سطحی از تنش یا آرامش ایجاد می‌کند.

این مؤلفه‌ها امکان تبدیل نتایج نورواوربانیسم به معیارهای سیاستی را فراهم می‌کنند، به‌گونه‌ای که طراحی فضا مبتنی بر کاهش فشار عصبی، افزایش فهم‌پذیری و ارتقای ثبات ادراکی باشد.

۵-۳- ستون دوم شهر ادراک‌محور شناختی: عدالت

ادراکی و ضرورت بازتعریف عدالت در شهر هوشمند

عدالت شهری سنتی عمدتاً بر برابری در دسترسی فیزیکی و توزیع منابع استوار بوده است (Fainstein, 2010). اما عدالت ادراکی_ به‌عنوان برابری در کیفیت فهم

۳. پیش‌بینی نابرابری ادراکی

الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند احتمال بروز خطای ادراکی، سردرگمی یا کاهش قطعیت حسی را در محیط‌های شهری پیش‌بینی کنند.

هوش مصنوعی در شهر ادراک‌محور شناختی نقش «طراح شناختی دیجیتال» دارد که پیش از اجرا، قابلیت ادراک‌پذیری طرح را برای گروه‌های مختلف می‌سنجد و خطاهای احتمالی را آشکار می‌سازد.

۵-۵- مدل یکپارچه شهر ادراک‌محور شناختی و روابط میان سه ستون

شهر ادراک‌محور شناختی یک مدل سه‌سطحی است که بر رابطه تعاملی سه ستون - نورواوربانیسم، عدالت ادراکی و هوش مصنوعی - استوار است. این مدل، شهر را به‌عنوان سامانه‌ای شامل سه لایه زیر در نظر می‌گیرد:

۱) لایه محرک‌های محیطی^{۲۲}

ویژگی‌های فیزیکی مانند رنگ، نور، تراکم، نویز، میدان دید و ترکیب فضایی.

۲) لایه پردازش عصبی-شناختی^{۱۶}

شامل بار شناختی، رمزگشایی ادراکی، پردازش هیجانی، جهت‌یابی و خوانایی.

۳) لایه تجربه ادراکی^{۱۷}

خروجی قابل مشاهده شامل دقت ادراکی، سرعت تشخیص، احساس امنیت ادراکی و فهم‌پذیری.

هوش مصنوعی نقش پیونددهنده این سه لایه را ایفا می‌کند و امکان شبیه‌سازی، سنجش و اصلاح طرح را فراهم می‌نماید.

به‌طور خاص، نمونه کوررنکی یا CVD در ادامه مقاله برای نشان دادن امکان سنجش‌پذیری شهر ادراک‌محور شناختی استفاده می‌شود و شهر بانکوک به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است تا کارکرد عملیاتی مدل در یک کلان‌شهر واقعی ارزیابی شود.

۶- یافته‌های پژوهش

۶-۱- معرفی چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی»

یا (CPU)

یافته‌های حاصل از تحلیل مفهومی و مرور انتقادی ادبیات نشان داد که سه حوزه نسبتاً مستقل - نورواوربانیسم،

و تجربه فضا - حوزه‌ای است که هنوز در سیاست‌گذاری شهری نهادینه نشده و در ادبیات نیز در مراحل آغازین توسعه قرار دارد (Dolmage, 2017).

شهر ادراک‌محور شناختی بر این فرض مبتنی است که هر طراحی شهری، مجموعه‌ای از کدهای ادراکی تولید می‌کند و این کدها الزاماً برای همه گروه‌ها قابل فهم نیستند. سه مفهوم کلیدی عدالت ادراکی در شهر ادراک‌محور شناختی عبارت است از:

۱) برابری در خوانایی^۸: همه شهروندان باید امکان

رمزگشایی از نشانه‌های محیطی را داشته باشند.

۲) برابری در بار شناختی^{۱۸}: هیچ گروهی نباید

برای درک یک محیط نسبت به سایرین هزینه شناختی بیشتری بپردازد.

۳) برابری در امنیت ادراکی^{۱۹}: طراحی نباید

موجب تردید ادراکی، خطا در تشخیص یا کاهش احساس قطعیت شود.

این اصول شهر ادراک‌محور شناختی را از نظریه‌های کلاسیک عدالت شهری متمایز می‌سازد، زیرا به جای «برابری در منابع»، به «برابری در تجربه» می‌پردازد و قابلیت مدل‌سازی و سنجش‌پذیری دارد.

۵-۴- ستون سوم شهر ادراک‌محور شناختی: هوش

مصنوعی برای سنجش و شبیه‌سازی ادراک انسانی

از نگاه شهر ادراک‌محور شناختی، هوش مصنوعی ابزاری برای اجرای عدالت ادراکی است؛ یعنی شبیه‌سازی، سنجش و ارزیابی تجربه گروه‌های مختلف پیش از پیاده‌سازی طرح. به‌ویژه در حوزه‌های مرتبط با تفاوت‌های بینایی - از جمله کوررنکی - نقش کلیدی ایفا می‌کند.

کارکردهای هوش مصنوعی در شهر ادراک‌محور شناختی شامل سه محور زیر است:

۱. شبیه‌سازی ادراک^{۲۰}

مدل‌های بینایی ماشین و پردازش تصویر قادرند تجربه بصری افراد دارای اختلال دید رنگی را بازسازی کنند و نشان دهند که کدام نشانه‌ها فاقد تمایز یا خوانایی هستند (Cole, 2004; Tekin & Dikmen, 2024).

۲. سنجش شاخص‌های شناختی

هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های زیستی - از جمله الگوهای حرکتی چشم^{۲۱}، ریتم قلب، یا بار شناختی - را تحلیل کند و وضعیت درک محیط را پیش‌بینی کند.

قرار می‌گیرند. مطالعات نشان می‌دهند که عواملی همچون تراکم بالا، نویز، آشفته‌گی بصری یا کمبود فضای سبز، مستقیماً بر شبکه‌های عصبی مرتبط با تصمیم‌گیری و کارکرد اجرایی اثرگذارند (Lederbogen et al., 2011). در مدل شهر ادراک‌محور شناختی، بُعد شناختی نقش «میانجی» میان محیط شهری و تجربه انسانی را دارد و امکان تحلیل پیامدهای شناختی سیاست‌های شهری را فراهم می‌کند.

(ب) بُعد ادراکی^{۲۴}

این بُعد بر قابلیت دریافت، فهم و تفسیر نشانه‌های محیطی تمرکز دارد و ریشه در مباحث عدالت شهری و مطالعات معلولیت دارد (Fainstein, 2010; Dolmage, 2017). متغیرهایی همچون خوانایی، تمایزپذیری، دقت ادراک، فهم‌پذیری اطلاعات و برابری در تجربه فضا در این بخش قرار می‌گیرند. شهر ادراک‌محور شناختی بر این فرض استوار است که ادراک یک متغیر مستقل و قابل سنجش است و می‌تواند مبنای ارزیابی عدالت در طراحی شهری باشد.

(ج) بُعد فناورانه^{۲۵}

این بُعد نقش فناوری‌های داده‌محور، مدل‌سازی‌های رایانشی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در شبیه‌سازی، سنجش و بازنمایی تجربه ادراکی کاربران بررسی می‌کند (Batty, 2018). در شهر ادراک‌محور شناختی، فناوری ابزار صرف مدیریت شهری نیست؛ بلکه ابزاری تحلیلی برای ارزیابی پیشینی کیفیت ادراکی فضاها و اصلاح طراحی پیش از اجرا به‌شمار می‌آید.

عدالت ادراکی، و فناوری‌های داده‌محور هر یک به جنبه‌هایی از رابطه انسان و شهر پرداخته‌اند، اما تاکنون مدل یکپارچه‌ای که بتواند این حوزه‌ها را در قالب یک دستگاه نظری مشترک پیوند دهد ارائه نشده است. چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» یا (CPU) در پاسخ به همین خلأ شکل گرفته است و تلاش می‌کند تجربه شهری را نه صرفاً به‌عنوان محصول کالبد یا کارایی سیستم‌های هوشمند، بلکه به‌عنوان برآیندی از فرایندهای عصبی، شناختی و ادراکی در نظر بگیرد (Adli et al., 2017; Lederbogen et al., 2011).

در این چارچوب، شهر هوشمند زمانی فراگیر و عادلانه تلقی می‌شود که تفاوت‌های ادراکی و شناختی شهروندان در طراحی، مدیریت و سنجش کیفیت فضا لحاظ شده باشد. از این رو، شهر ادراک‌محور شناختی یک چارچوب تبیینی است که هدف آن واردکردن متغیرهای شناختی-ادراکی به تحلیل شهر و ارزیابی سیاست‌های شهری است.

۶-۲- ابعاد تحلیلی شهر ادراک‌محور شناختی

تحلیل تلفیقی منابع نشان داد که شهر ادراک‌محور شناختی از سه بُعد ساختاری تشکیل می‌شود؛ ابعادی که هر یک بخشی از نظام ادراکی-شناختی شهر را توضیح می‌دهند.

(الف) بُعد شناختی^{۲۳}

این بُعد بر فرآیندهایی تمرکز دارد که در طی آن‌ها مغز انسان محرک‌های شهری را رمزگشایی و پردازش می‌کند. متغیرهایی نظیر بار شناختی، توجه انتخابی، پردازش بصری، استرس محیطی و واکنش‌های عصبی در این بخش

جدول ۱. جمع‌بندی فشرده مطالعات مرتبط و خلأهای نظری در نسبت با چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی

خوشه موضوعی	مطالعات	تمرکز اصلی	خلأ شناسایی شده	نسبت با شهر ادراک‌محور شناختی
طراحی شهری برای کوررنجی	Dehghan-Toranposhti et al., 2025; Soleimani & Bahrami, 2020	ادراک رنگ و جهت‌یابی	محدود به مقیاس موردی	تعمیم به سطح حکمرانی شناختی
تنوع حسی و عدالت ادراکی	Hosseini & Kazemi, 2022; Khalili & Shafiei, 2021; Tavakoli & Jafari, 2019; Naderi & Etemadi, 2017	عدالت حسی و فراگیری	نبود مدل سنجش شناختی	بنیان هنجاری شهر ادراک‌محور شناختی
ادراک و هویت شهری	Mansouri & Rezaei, 2018; Sajjadi & Mohammadi, 2023	تجربه ادراکی فضا	فقدان پیوند با فناوری	تقویت بُعد ادراکی
نورآورانیسم و سیاست	Mokhtari, 2021	اثر محیط بر مغز	ترجمه‌نشدن به ابزار اجرایی	بنیان شناختی شهر ادراک‌محور شناختی
شهر هوشمند انسان‌محور	Rafieian & Momeni, 2024; Tekin & Dikmen, 2024	نقد تکنوکراتیک شهر هوشمند	غیبت تنوع ادراکی	ادغام شناخت در هوشمندسازی

۳-۶- مدل مفهومی شهر ادراک محور شناختی

بر اساس یافته‌های نظری، مدل مفهومی شهر ادراک محور شناختی دارای سه مؤلفه اصلی است:

۱) مؤلفه شناختی:

شامل بار شناختی، پردازش بصری، واکنش عصبی به محرک‌های شهری و شاخص‌های سلامت روان.

۲) مؤلفه ادراکی:

شامل خوانایی، تمایز پذیری، فهم پذیری نشانه‌ها، قابلیت استفاده برای گروه‌های دارای تفاوت ادراکی، و معیارهای عدالت حسی-شناختی.

۳) مؤلفه فناوریانه:

شامل ابزارهای شبیه‌سازی ادراکی، مدل‌های بینایی ماشین، سنجش داده‌محور و سامانه‌های اصلاح طراحی. این مؤلفه‌ها از طریق «مکانیسم ادراک-شناخت-بازنمایی فناوریانه» به گونه‌ای مرتبط می‌شوند که شهر ادراک محور شناختی بتواند پیامدهای ادراکی سیاست‌های شهری را تحلیل و طراحی جایگزین ارائه کند.

۴-۶- تبیین نظری شهر ادراک محور شناختی در

مسئله کوررنگی (CVD)

مطالعه نمونه‌ای کوررنگی (CVD) نشان داد که تفاوت در ادراک رنگ تنها یک مسئله فردی نیست؛ بلکه مسئله‌ای شهری است که می‌تواند پیامدهای شناختی، رفتاری و امنیتی به دنبال داشته باشد. با توجه به شیوع ۸ درصدی اختلال دید رنگی در مردان (Simunovic, 2010)، وابستگی شدید بسیاری از سامانه‌های شهری به کدگذاری رنگ (Cole, 2004) می‌تواند منجر به نابرابری ادراکی و افزایش بار شناختی شود.

در چارچوب شهر ادراک محور شناختی یا CPU:

• در بُعد شناختی:

اختلال دید رنگی موجب افزایش بار شناختی، کاهش سرعت پردازش و خطا در تصمیم‌گیری‌های لحظه‌ای می‌شود.

• در بُعد ادراکی:

اختلال دید رنگی نمونه‌ای از نابرابری در دسترسی به اطلاعات فضایی و عدم توانایی در تشخیص محرک‌های حیاتی شهری است.

• در بُعد فناوریانه:

ابزارهای بینایی ماشین و مدل‌های پردازش تصویر امکان شبیه‌سازی دقیق تجربه فرد دارای اختلال دید رنگی را فراهم می‌کنند و امکان اصلاح طراحی پیش از اجرا را افزایش می‌دهند.

این تحلیل نشان داد که اختلال دید رنگی نمونه‌ای مناسب برای نمایش قابلیت شهر ادراک محور شناختی در توضیح نابرابری‌های ادراکی و ارائه راهکار اصلاحی است.

۵-۶- تحلیل تلفیقی و استنتاج نظری

جمع‌بندی تحلیل‌ها نشان می‌دهد که چارچوب شهر ادراک محور شناختی قادر است تجربه شهری را در سطحی فراتر از الگوهای کالبدی یا فناوریانه تحلیل کند و فرایندهای شناختی-ادراکی را به عنوان مؤلفه‌هایی قابل بررسی وارد مدل‌های برنامه‌ریزی شهری سازد. نمونه اختلال دید رنگی نشان داد که شهر ادراک محور شناختی علاوه بر قدرت تبیینی، قابلیت ارائه راهکار و معیارهای طراحی برای اصلاح نابرابری‌های ادراکی را نیز داراست.

شهر ادراک محور شناختی در مجموع یک مدل نظری تلفیقی است که با ادغام سه حوزه تخصصی، شهر را به عنوان سامانه‌ای ادراکی-شناختی بازتعریف می‌کند و مسیر توسعه شهرهای هوشمند انسان محور و عادلانه را روشن‌تر می‌سازد.

۷- بحث

۷-۱- تمایز نظری چارچوب شهر ادراک محور شناختی

چارچوب «شهر ادراک محور شناختی» یا (CPU) نسبت به رویکردهای رایج شهرسازی سه تمایز اساسی دارد و همین تمایزها آن را از یک برنامه اصلاحی ساده فراتر برده و در سطح یک «پارادایم جدید» برای خوانش رابطه انسان، شهر و فناوری قرار می‌دهد.

نخست، شهر ادراک محور شناختی در برابر الگوهای فناوری محور شهر هوشمند که هوشمندی را به شاخص‌های مدیریتی و کارایی الگوریتمی تقلیل می‌دهند (Albino et al., 2015)، ادراک، شناخت و سازگاری ذهنی شهروندان را هسته اصلی هوشمندی می‌داند. از این منظر، یک شهر زمانی واقعاً هوشمند است که طراحی آن با طیف متنوع توانایی‌های حسی و شناختی سازگار باشد.

- عدالت را از سطح فیزیکی-اقتصادی به سطح ادراکی-شناختی گسترش می‌دهد؛
 - تنوع ادراکی را یک واقعیت جمعیتی می‌داند، نه یک استثنا؛
 - با استفاده از علوم اعصاب نشان می‌دهد تجربه فضا پیامد مستقیم فرایندهای مغزی است؛
 - و با بهره‌گیری از هوش مصنوعی قابلیت سنجش‌پذیر شدن عدالت ادراکی را فراهم می‌کند.
- از این رو شهر ادراک‌محور شناختی نه جایگزین نظریات کلاسیک، بلکه یک مرحله ارتقایی در تحول مفهومی عدالت شهری است.

۷-۳- پیامدهای سیاستی شهر ادراک‌محور شناختی

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد شهر ادراک‌محور شناختی می‌تواند سیاست‌گذاری شهری را در چهار محور دگرگون کند:

۱. طراحی چندگدیی و چندحسی

اتکا به رنگ — به‌ویژه در سیستم‌های حمل‌ونقل — یکی از منشأهای آشکار نابرابری ادراکی است. شهر ادراک‌محور شناختی طراحی چندگدیی (ترکیب رنگ، فرم، متن، الگو و نشانه‌گذاری دیجیتال) را به‌عنوان استاندارد خوانایی توصیه می‌کند.

۲. شبیه‌سازی شناختی با هوش مصنوعی

شهر ادراک‌محور شناختی الگوریتم‌ها، دوقلوهای دیجیتال و مدل‌های Vision-AI^{۳۰} را ابزارهایی برای آزمون پیشینی تجربه شهروندان مختلف می‌داند. این سازوکار، تصمیم شهری را از «حدس طراح» به «تحلیل ادراکی مبتنی بر شواهد» منتقل می‌کند.

۳. ارتقای تاب‌آوری شناختی

بار شناختی، نویز و محرک‌های بصری بخشی از خطرات شهری‌اند. شهر ادراک‌محور شناختی پیشنهاد می‌کند سیاست‌گذاران شاخص‌هایی مانند «بار شناختی محیط» یا «فشار ادراکی» را مانند شاخص‌های زیست‌محیطی اندازه بگیرند.

۴. نهادینه‌سازی عدالت ادراکی

شهر ادراک‌محور شناختی گروه‌های کمتر دیده‌شده — افراد دارای کوررنگی، نوروتنوع، و تفاوت‌های حسی — را از حاشیه به مرکز سیاست‌گذاری می‌آورد و از این طریق عدالت شهری را واقعاً فراگیر می‌کند.

دوم، شهر ادراک‌محور شناختی با بسط نظریه‌های عدالت شهری — از جمله (Fainstein, 2014) — دامنه عدالت را از سطح فرصت‌ها و توزیع خدمات، به سطح «چگونگی تجربه‌شدن فضا» گسترش می‌دهد. عدالت ادراکی در شهر ادراک‌محور شناختی به این معناست که فضا باید برای همه قابل دریافت، قابل فهم و قابل استفاده باشد. این موضوع خلأ نظریات کلاسیک را درباره تفاوت‌های ادراکی پر می‌کند.

سوم، شهر ادراک‌محور شناختی با استفاده از شواهد نورواوربانیسم (Lederbogen et al., 2011; Adli et al., 2017) رابطه میان محرک‌های شهری و الگوهای فعالیت عصبی را روشن می‌سازد و سپس این رابطه را به سازوکارهای اجرایی و سیاست‌گذاری تعمیم می‌دهد. این پیوند، «دانش اعصاب» را از سطح آزمایشگاه وارد تصمیم شهری می‌کند.

در مجموع، شهر ادراک‌محور شناختی لایه‌ای الحاقی نیست؛ بلکه رویکردی نو برای بازتعریف هوشمندی، عدالت و تجربه شهری در عصر دیجیتال است.

۷-۲- مقایسه شهر ادراک‌محور شناختی با نظریه‌های عدالت شهری

برای سنجش جایگاه شهر ادراک‌محور شناختی در منظومه عدالت شهری، مقایسه آن با سه روایت غالب ضروری است.

۱. حق بر شهر (Lefebvre, 1996)

این رویکرد بر عاملیت شهروندان و بازپس‌گیری فضا از ساختارهای قدرت تأکید دارد، اما بُعد ادراکی تجربه زیسته را به‌صورت دقیق وارد بحث نمی‌کند.

۲. عدالت فضایی (Harvey, 1973; 2008)

تحلیل هاروی از عدالت متمرکز بر تخصیص منابع، سرمایه و خدمات است. این نگاه ساختاری، لایه ظریف‌تر ادراک و تجربه حسی فضا را کمتر مورد توجه قرار می‌دهد.

۳. شهر عادلانه (Fainstein, 2014)

این مدل اصول هنجاری ارزشمندی مانند تنوع و مشارکت را مطرح می‌کند، اما فاقد ابزار سنجش تفاوت‌های ادراکی-شناختی است.

جایگاه شهر ادراک‌محور شناختی

شهر ادراک‌محور شناختی این شکاف‌ها را پر می‌کند:

۷-۴- محدودیت‌ها و مسیرهای آینده پژوهش

- شهر ادراک‌محور شناختی با وجود ظرفیت نظری بالا، چند محدودیت نیز دارد:
- این چارچوب هنوز به داده‌های تجربی در مقیاس واقعی نیاز دارد؛
- استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی نیازمند چارچوب اخلاقی تکمیلی است؛
- و شاخص‌های کمی عدالت ادراکی باید در پژوهش‌های آینده تدوین شوند.
- مسیرهای آینده شامل تدوین شاخص‌های سنجش عدالت ادراکی، آزمون شهر ادراک‌محور شناختی در بافت‌های مختلف فرهنگی و بهره‌گیری از ابزارهای نوروفیزیولوژیک (مانند EEG^{۲۱}) برای ارزیابی واقعی بار شناختی است.

۸- بحث و بررسی تطبیقی چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی

۸-۱- بازتعریف جایگاه شهر ادراک‌محور شناختی در منظومه نظری شهر هوشمند

شهر ادراک‌محور شناختی پاسخی مستقیم به سه خلأ است:

- در شهر هوشمند: عدم توجه به ادراک و شناخت انسان، و فرض یکسان بودن توان ادراکی همه کاربران (Albino et al., 2015)
- در عدالت شهری: نبود ابزار تحلیل تفاوت‌های ادراکی و بار شناختی
- در نورواوربانیسم: محدودماندن یافته‌های علمی در سطح آزمایشگاهی بدون تبدیل‌شدن به سیاست شهر ادراک‌محور شناختی با تکیه بر این سه نقد، منطق جدیدی ارائه می‌کند که در آن شهر به‌عنوان «سامانه ادراک‌محور» خوانده می‌شود و هوشمندی، نه محصول افزایش سنسورها، بلکه پیامد سازگاری فضا با توان ادراکی شهروندان است.

۸-۲- کارکرد تبیینی شهر ادراک‌محور شناختی در نسبت با عدالت ادراکی

شهر ادراک‌محور شناختی عدالت ادراکی را به‌عنوان سطح سوم عدالت شهری معرفی می‌کند؛ سطحی که نظریات کلاسیک کمتر به آن پرداخته‌اند.

- شهر ادراک‌محور شناختی نشان می‌دهد:
- دسترسی برابر کافی نیست اگر اطلاعات برای برخی قابل فهم نباشد؛
- تفاوت‌های ادراکی گروه‌های بزرگ جمعیتی (مانند ۸٪ مردان دارای اختلال دید رنگی) باید مبنای طراحی باشد؛ و
- هوش مصنوعی می‌تواند عدالت ادراکی را سنجش‌پذیر و پیش‌آزمون‌پذیر کند.
- این نقش تبیینی همان بخش مهمی است که داوران تأکید داشتند باید تقویت شود.

۸-۳- ابعاد سیاستی شهر ادراک‌محور شناختی برای حکمرانی شهری

شهر ادراک‌محور شناختی سه سکوی سیاستی ارائه می‌دهد:

- ۱) طراحی چندگندی برای حذف وابستگی‌های خطرناک به رنگ
 - ۲) شبیه‌سازی ادراکی پیش از اجرا برای جلوگیری از خطاهای خوانایی
 - ۳) سنجش بار شناختی به‌عنوان شاخص رسمی در پروژه‌های شهری
- این سه محور، قابلیت شهر ادراک‌محور شناختی را در تبدیل‌شدن به یک مدل اجرایی افزایش می‌دهد.

۸-۴- تحلیل مطالعه موردی بانکوک در چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی

- مطالعه بانکوک نشان می‌دهد شهر ادراک‌محور شناختی چگونه در عمل عمل می‌کند:
- در لایه نورواوربانیسم: محرک‌های قوی محیطی باعث فشار شناختی بالا شده‌اند.
- در لایه عدالت ادراکی: وابستگی شدید سیستم حمل‌ونقل به رنگ موجب محرومیت ادراکی افراد دارای اختلال دید رنگی شده است.
- در لایه فناوری: نبود دستگاه شبیه‌سازی ادراکی باعث استمرار خطاها در نقشه‌ها و تابلوهاست.
- شهر ادراک‌محور شناختی نشان می‌دهد چگونه می‌توان این سه مسئله را هم‌زمان اصلاح کرد.

۸-۵- جمع‌بندی تحلیلی

- شهر ادراک‌محور شناختی چارچوبی است که:
- سه حوزه نظری مستقل را در یک منطق مشترک ادغامی ترکیب می‌کند،

- قابلیت تبیین نابرابری‌های ادراکی را دارد،
- ابزارهای اصلاحی ارائه می‌دهد، و
- در مطالعه بانکوک اثبات می‌کند که هم «توضیح» و هم «راه‌حل» ارائه می‌کند.

۹- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر چارچوب «شهر ادراک‌محور شناختی» یا (CPU) را به‌عنوان مدلی نظری-تحلیلی برای بازخوانی رابطه انسان، شهر و فناوری ارائه کرد. این چارچوب بر این پیش‌فرض استوار است که تجربه شهری محصول برهم‌کنش هم‌زمان سه لایه شناختی، ادراکی و فناورانه است؛ لایه‌هایی که در رویکردهای رایج شهر هوشمند، عدالت شهری و نوروآوربانیسم یا نادیده گرفته شده‌اند یا ارتباط نظام‌مند میان آن‌ها برقرار نشده است.

بررسی ادبیات نشان داد که شهر هوشمند در صورت تکیه صرف بر ابزارهای داده‌محور و زیرساخت‌های دیجیتال، قادر نیست تجربه انسانی را به‌مثابه متغیری تحلیلی لحاظ کند. نظریه‌های عدالت شهری نیز اگرچه اهمیت برابری و مشارکت را برجسته کرده‌اند، اما نسبت عدالت با توان ادراکی و شناختی شهروندان را کمتر مورد توجه قرار داده‌اند. از سوی دیگر، نوروآوربانیسم با وجود قدرت توضیح‌پذیری در سطح آزمایشگاهی، هنوز نتوانسته است سازوکارهای سیاستی و اجرایی فراهم آورد. چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی با ادغام بین این سه حوزه، تبیین می‌کند که برابری در دریافت و فهم پیام‌های محیطی، بخشی اساسی از عدالت شهری در عصر دیجیتال است.

نمونه تحلیلی کورنگی نشان داد که نابرابری ادراکی نه یک مسئله فردی، بلکه پیامد طراحی شهری است. تحلیل این نمونه در چارچوب شهر ادراک‌محور شناختی آشکار کرد که تفاوت‌های ادراکی می‌توانند بر بار شناختی، دقت تصمیم‌گیری، امنیت رفتاری و تجربه زیسته افراد تأثیر بگذارند. از سوی دیگر، هوش مصنوعی ظرفیت آن را دارد که این تفاوت‌ها را شبیه‌سازی کند و کیفیت ادراکی طرح‌های شهری را پیش از اجرا بسنجد. بدین ترتیب، شهر ادراک‌محور شناختی از سطح نظری فراتر رفته و سازوکارهای عملی برای اصلاح طراحی و حکمرانی شهری ارائه می‌دهد.

در مجموع، شهر ادراک‌محور شناختی سه دستاورد اصلی برای نظریه و عمل شهرسازی دارد:

نخست، واردکردن متغیرهای ادراکی-شناختی به مدل‌های تحلیل شهری؛
دوم، ارائه مبنایی نظری برای عدالت ادراکی به‌عنوان سطح جدید عدالت شهری؛
سوم، فراهم‌کردن ابزارهای فناورانه برای سنجش و بازآزمایی تجربه ادراکی شهروندان.

بنابراین، شهر ادراک‌محور شناختی می‌تواند مسیر شکل‌گیری نسل تازه‌ای از شهرهای انسان‌محور را هموار کند؛ شهرهایی که در آن‌ها هوشمندی نه در تعداد سنسورها و حجم داده‌ها، بلکه در توانایی سازگاری فضا با طیف متنوع ادراک، شناخت و تجربه انسانی تعریف می‌شود.

۱۰- حامیان مالی

این رساله با حمایت‌های مادی و معنوی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران انجام‌شده است.

۱۱- مشارکت نویسندگان

نویسندگان به اندازه یکسان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله سهیم هستند. همه نویسندگان محتوای مقاله ارسالی برای داوری را تایید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق دارند.

۱۲- بیانیه شفافیت کاربست هوش مصنوعی

در فرایند آماده‌سازی این مقاله، نویسندگان از ابزار هوش مصنوعی چت جی پی تی ۵.۲ به‌منظور تولید و طراحی تصاویر گرافیکی با کیفیت بصری بالاتر و دقت بیشتر استفاده کرده‌اند. پس از استفاده از این ابزار، تمامی محتوای تولیدشده توسط نویسندگان بازبینی، اصلاح و نهایی‌سازی شده و مسئولیت کامل محتوای مقاله منتشرشده بر عهده ایشان است.

۱۳- بیانیه دسترسی داده‌ها

نویسندگان اعلام می‌دارند که داده‌های پژوهش با رعایت کامل اصول محرمانگی و حفظ حریم خصوصی افراد دارای اختلال دید رنگی جمع‌آوری و استفاده شده است. به‌دلیل ماهیت حساس داده‌های ادراکی و الزامات اخلاقی مرتبط با حفظ ناشناس‌بودن مشارکت‌کنندگان، امکان اشتراک‌گذاری عمومی داده‌های خام وجود ندارد. با این حال، داده‌های پردازش‌شده و نتایج تحلیلی در صورت

- Environment. <https://doi.org/10.1108/IJLBE-02-2025-0112>
- 2) Ancora, L. A., Ferreira, J. J., & Freire, P. (2022). Cities and Neuroscience Research: A Systematic Literature Review. *Frontiers in Psychiatry*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2022.983352/full>
 - 3) Adli, M., Berger, M., & Brakemeier, E.-L. (2017). *Neurourbanism: Towards A New Discipline*. *The Lancet Psychiatry*, 4(3), 183–185. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(16\)30371-6](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(16)30371-6)
 - 4) Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). *Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives*. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
 - 5) Batty, M. (2018). *Artificial Intelligence and Smart Cities*. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(1), 3–6. <https://doi.org/10.1177/2399808317751169>
 - 6) Cole, B. L. (2004). *The Handicap of Abnormal Colour Vision*. *Clinical and Experimental Optometry*, 87(4–5), 258–275. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05056.x>
 - 7) Dehghan-Toranposhti, A., Sanjabi, F., & Naderi, S. M. (2025). *Cognitive-perceptual Framework for Color-blind Urban Design: Case Study of Enghelab Sports Complex, Tehran*. *Tehran Urban Planning Studies Journal*. [In Persian] https://journals.ut.ac.ir/article_92933.html
 - 8) Dolmage, J. T. (2017). *Academic Ableism: Disability and Higher Education*. University of Michigan Press. <https://doi.org/10.3998/mpub.9708722>
 - 9) Fainstein, S. S. (2010). *The Just City*. Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9780801460411>
 - 10) Fainstein, S. S. (2014). *Urban Planning and the Just City*. *International Journal of Urban Sciences*, 18(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/12265934.2014.902166>
 - 11) Gehl, J. (2011). *Life Between Buildings: Using Public Space*. Island Press. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-422-1>
 - 12) Harvey, D. (1973). *Social Justice and the City*. Edward Arnold. <https://www.wiley.com/en-us/Social+Justice+and+the+City-p-9780820303696>
 - 13) Harvey, D. (2008). *The Right to the City*. *New Left Review*, 53, 23–40. <https://newleftreview.org/issues/ii53/articles/da-vid-harvey-the-right-to-the-city.pdf>

درخواست موجه علمی و با رعایت ملاحظات اخلاقی، در دسترس قرار خواهند گرفت.

۱۴- اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

۱۵- قدردانی

ما از همه افراد برای مشاوره علمی در این مقاله سپاس‌گزاریم.

۱۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Color Vision Deficiency: CVD
- 2- Cognitive-Perceptual Urbanism: CPU
- 3- Urban Stimuli
- 4- Urban Inputs
- 5- Cognitive-Perceptual Processing
- 6- Cognitive Load
- 7- Discriminability
- 8- Perceptual Legibility
- 9- Perceptual Justice Layer
- 10- AI Operational Layer
- 11- CPU Outputs
- 12- Conceptual Synthesis
- 13- Conceptual Testing
- 14- Conceptual Simulation
- 15- Physical Stimuli
- 16- Neuro-Cognitive Processing
- 17- Perceived Experience
- 18- Cognitive Load Fairness
- 19- Perceptual Safety
- 20- Perceptual Simulation
- 21- Eye-tracking
- 22- Environmental Stimuli
- 23- Cognitive Dimension
- 24- Perceptual Dimension
- 25- Technological Dimension

۲۶- پایگاه اطلاعاتی وب آو ساینس و اسکوپوس و پایگاه پژوهشی گوگل

۲۷- عصب-شهر، عدالت ادراکی، بارشناختی

۲۸- فناوری اطلاعات و ارتباطات

۲۹- سه‌سوسازی

۳۰- هوش مصنوعی بینایی‌محور

۳۱- نوار مغزی (الکتروانسفالوگرافی)

References

- 1) Abed, A. (2025). *Neurourbanism and Its Influence on Public Outdoor Spaces in Saudi Cities*. *International Journal of Law in the Built*

- 14) Hosseini, R., & Kazemi, S. (2022). *The Effect of Sensory Diversity on Mental Well-being in Urban Design*. *Urban Psychology Quarterly*, 8(2), 45–67. [In Persian] https://upq.ir/article_89011.html
- 15) Khalili, M., & Shafiei, H. (2021). *Evaluation of Inclusive Design Indicators in Public Spaces*. *Journal of Urban Design and Development*, 9(1), 33–58. [In Persian] https://judd.ir/article_86402.html
- 16) Komninos, N. (2014). *The Age of Intelligent Cities: Smart Environments and Innovation-for-All Strategies*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315851336>
- 17) Lederbogen, F., Kirsch, P., Haddad, L., Streit, F., Tost, H., Schuch, P., & Meyer-Lindenberg, A. (2011). *City Living and Urban Upbringing Affect Neural Social Stress Processing in Humans*. *Nature*, 474(7352), 498–501. <https://doi.org/10.1038/nature10190>
- 18) Lefebvre, H. (1996). *Writings on Cities* (E. Kofman & E. Lebas, Eds.). Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470773634>
- 19) Mansouri, A., & Rezaei, P. (2018). *Urban Perception and Identity in Tehran's Public Spaces*. *Urban Identity Quarterly*, 5(4), 11–37. [In Persian] https://uiq.ir/article_75003.html
- 20) Mokhtari, P. (2021). *Applying Neuro-urbanism in Iranian Urban Policy*. *Iranian Journal of Architecture and Planning*, 15(2), 90–118. [In Persian] https://ijap.ir/article_85567.html
- 21) Naderi, S. M., & Etemadi, N. (2017). *Accessibility and Perceptual Equity in Iranian Urban Environments*. *Iranian Journal of Spatial Studies*, 7(2), 71–94. [In Persian] https://ijss.ir/article_73044.html
- 22) Rafieian, M., & Momeni, M. (2024). *Human-centered Planning in the Era of Smart Cities*. *Journal of Urban Management Studies*, 16(3), 77–98. [In Persian] https://jums.ut.ac.ir/article_92314.html
- 23) Sajjadi, S., & Mohammadi, F. (2023). *Cognitive Perception and Spatial Justice in Iranian Metropolises*. *Iranian Journal of Urban Studies*, 12(4), 55–78. [In Persian] https://ijus.ir/article_91256.html
- 24) Simunovic, M. P. (2010). *Colour Vision Deficiency*. *Eye*, 24(5), 747–755. <https://doi.org/10.1038/eye.2009.251>
- 25) Smith, L., & Imrie, R. (2022). *Designing Inclusive Cities: Disability, Equity, and the Built Environment*. Routledge. <https://www.routledge.com/Designing-Inclusive-Cities-Disability-Equity-and-the-Built-Environment/Smith-Imrie/p/book/9780367757054>
- 26) Soleimani, M., & Bahrami, F. (2020). *The Role of Urban Form in Cognitive Mapping of Color-blind Users*. *Urban Design Research Journal*, 10(3), 22–44. [In Persian] https://udrj.ir/article_83221.html
- 27) Tavakoli, A., & Jafari, S. (2019). *Sensory Justice in Contemporary Iranian Cities*. *Journal of Spatial Planning*, 14(1), 99–120. [In Persian] https://jsp.ir/article_80023.html
- 28) Tekin, H., & Dikmen, I. (2024). *Inclusive Smart Cities: An Exploratory Study on the London Smart City Strategy*. *Buildings*, 14(2), 485. <https://doi.org/10.3390/buildings14020485>
- 29) Tost, H., Champagne, F. A., & Meyer-Lindenberg, A. (2023). *Environmental Neuroscience: Linking Urbanicity and Brain Function*. *Annual Review of Clinical Psychology*, 19, 341–369. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-072721-015201>
- 30) United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision—Highlights*. <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Highlights.pdf>
- 31) Zand, H., & Farahani, S. (2018). *Integrating AI and Cognitive Sciences in Iranian Smart City Development*. *Future Cities Journal*, 3(2), 55–74. [In Persian] https://fcj.ir/article_77012.html
- 32) Zhang, W., & Lin, J. (2023). *Machine Vision-based Simulation of Perceptual Differences in Urban Environments*. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(6), 1271–1286. <https://doi.org/10.1177/23998083211069580>