International Journal of Iranian Urban Design Studies.1(2):243-268, Fall & Winter 2025

International Journal of Iranian Urban Design Studies (IUDS)

https://iuds.shirazu.ac.ir/

ABRIDGED PAPER | Review Article

The Application of Neuro-Urbanism in Urban Design: Evaluating the Effects of Visual Complexity on Pedestrians' Neurocognitive Responses*

Amir Shakibamanesh[1], **Narges Ahmadpour** [2,**]

1. Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran Art University, Tehran, Iran.
2. PHD Student, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran Art University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

The rapid growth of cities and the absence of effective regulatory frameworks, have disrupted the reciprocal interaction between humans and built environments. These challenges have compromised cities' ability to address the cognitive and physiological needs of their citizens. Neuro-urbanism, as an emerging approach, integrates urban planning, environmental psychology, and neuroscience to analyze neural feedback from the brain in response to urban environments, aiming to restore positive human-environment interaction. Among the various factors, visual complexity -directly linked to human physiology- can be reexamined within this framework from a novel perspective.

This study explores the concept of visual complexity in urban design, introduces the optimal spectrum of visual complexity, and identifies the capabilities of neuro-urbanism in examining this environmental factor. Recent studies in neuro-urbanism reveal that the relationship between unity and diversity in urban environments can be assessed through the analysis of neural processing speed for visual data. Empirical evidence indicates a direct correlation between beta waves and the complexity of fractal forms. Data obtained from electroencephalography (EEG) demonstrate that this tool can effectively examine cognitive experiences related to unity and diversity as well as neural processing speed. Additionally, theta frequency oscillations in frontal and prefrontal areas show significant associations with cognitive functions such as working memory, episodic memory, and spatial orientation. Increases in EEG signal amplitude often signify reduced salience of environmental elements, while decreases in amplitude indicate heightened salience. Finally, technical limitations of neuroimaging tools in real-world environments -such as sensitivity to environmental noise and movement- have been identified as major challenges. To address these issues, virtual reality (VR) environments are proposed as innovative tools to control environmental variables and mitigate technical constraints. This approach enables systematic manipulation of visual complexity variables and enhances the accuracy of neural data recording.

Highlights

- Introduction of the visual complexity spectrum in relation to the urban form, rather than the abstract stimuli commonly used in laboratory studies.
- Presentation of neuro-urbanism and its methodological potential as an emerging interdisciplinary approach with applicability in studying visual complexity.
- Examination of various brainwave recording techniques, with a focus on electroencephalography (EEG) as an appropriate tool for studying the neurological effects of visual complexity in the urban form within the framework of cognitive electrophysiology.
- Collection and analysis of electroencephalography studies related to the visual complexity spectrum, and the introduction of key factors for evaluation.
- Exploration of technical and contextual limitations in the neuro-urbanism approach when studying the visual complexity spectrum in urban environments.

ARTICLE INFO

Received	04/10/2024
Revised	05/11/2024
Accepted	04/11/2024
Available Online	19/01/2025

Keywords

Neuro-urbanism
Visual Complexity
Brain Waves
Neuroimaging
Virtual Reality

© [2025] by the author(s).

Citation of the article

Shakibamanesh, A., & Ahmadpour, N. (2025). The application of neuro-urbanism in urban design: Evaluating the effects of visual complexity on pedestrians' neurocognitive responses. *International Journal of Iranian Urban Design Studies*, 1(2), 243–268.

*This article is extracted from the doctoral dissertation of the author, [Narges Ahmadpour], titled "[Evaluating the effect of urban Façade complexity on memorability of physical form for pedestrians, by Electroencephalography(EEG) in virtual reality (VR) environment. Case study: Tehran city center]," supervised by [Dr Amir Shakibamanesh] at [Tehran Art University].

**Author Corresponding:
Email: narges.ahmadpour35435@gmail.com

Introduction: Throughout history, the reciprocal interaction between human cognition and the environment has played a fundamental role in shaping the built world. Influenced by natural patterns, human cognitive structures have been instrumental in organizing and systematizing the surrounding environment. However, in the modern era, the rapid expansion of cities has disrupted this long-standing interplay. As a result, contemporary urban planning and architecture, failing to align with the intrinsic cognitive structures of the human mind, have given rise to built environments that negatively impact psychological well-being. The inefficacy of regulatory frameworks in guiding urban growth, coupled with the dominance of automobiles and the neglect of pedestrian needs—particularly due to differences in visual complexity perception at varying speeds between vehicular and pedestrian movement—has led to two critical consequences: perceptual overload due to visual clutter and the absence of essential sensory stimuli necessary for pedestrians' functional and physiological needs. This highlights the urgent need to address the physiological and cognitive requirements of urban citizens, especially pedestrians, to enhance public health and functional efficiency. Within this context, visual complexity emerges as a key factor directly linked to human physiology and presents a pressing concern for contemporary cities. Simultaneously, recent technological advancements have facilitated the development of precise, portable, and cost-effective tools in neuroscience, fostering the emergence of neuro-urbanism as an interdisciplinary field. Neuro-urbanism integrates neuroscience, urban design, and environmental psychology to examine how urban environments influence brain function and human behavior. This field seeks to bridge the gap between urban planning and the physiological and psychological needs of individuals by analyzing neural and cognitive responses to urban forms. By incorporating physiological and cognitive data, neuro-urbanism provides insights into cognitive processes relevant to urban design, fostering environments that better align with human neurophysiological patterns. The objective of this study is to explore how pedestrians perceive the spectrum of visual complexity in urban environments and to assess its functional impacts, such as the formation of cognitive maps. Additionally, the research examines the health-related implications, including stress responses and physiological reactions to perceptual overload, using a neuro-urbanism approach.

Materials and Methods: Despite a long history of research on visual complexity, defining and quantifying it has proven challenging. Consequently, visual complexity in urban spaces, especially from the perspective of moving pedestrians, has rarely been studied systematically and quantitatively. Therefore, it remains unclear which urban environmental factors influence visual complexity perception. To address this gap, this research first conducts a literature review to define the spectrum of visual complexity in urban environments. Visual complexity can be studied in two main categories: Experimental studies that use artificially created stimuli or examine complexity within real-world environmental contexts and aesthetic studies, which explore the intrinsic relationship between complexity and beauty perception, providing a foundational framework for measuring complexity. A synthesis of previous studies highlights the preference for a moderate level of complexity among users. Research on "good visual complexity" emphasizes achieving a balance between order and disorder, often referred to as "unity in variety." Findings from urban studies suggest that cities should ideally maintain a moderate level of visual complexity. This study also introduces neuro-urbanism and its methodological potential as an emerging approach in visual complexity research. Recent advances in neuroscience have shed light on underlying neural mechanisms, offering new perspectives on how environmental design influences the human brain and body. Consequently, visual complexity and its organization should not only be regarded as aesthetic issues but as elements fundamental to the human nervous system. Neuroscientific studies have identified neuronal locations and brain mechanisms responsible for complexity perception while providing insights into physiological and cognitive processes associated with navigation in urban spaces. Neuro-urbanism examines how urban complexity (e.g., architectural patterns and textures) influences cognitive processing, emphasizing the need to strike a balance between stimulating and monotonous environments. Various neuroscientific techniques, including electroencephalography (EEG) and other cognitive neuroscience methods, are utilized to explore these interactions.

Findings: Following a review of different brain wave recording techniques, electroencephalography (EEG) is identified as a suitable tool for investigating the neurological effects of visual complexity in urban environments. This preference is based on EEG's: High temporal resolution aligned with the rapid nature of cognitive processes (millisecond-level precision). Direct measurement of neural activity, unlike fMRI, which relies on indirect measures. Multidimensional data acquisition, including time, location, frequency, power, and phase of EEG signals.

This study also reviews technical specifications of EEG devices, highlighting electrode density, type, portability (wired/wireless), data acquisition software, and sampling rates as key considerations for researchers. Additionally, it examines experimental design aspects crucial for accurate EEG studies. A systematic review of EEG-based research analyzing visual complexity perception is conducted, focusing on neuropsychological applications. Based on previous findings: Increased visual unity enhances processing fluency. Theta wave oscillations in the prefrontal cortex can be used to assess working memory performance, episodic memory, and navigation difficulty. Higher EEG signal amplitude indicates reduced visibility of environmental elements, whereas lower EEG amplitude suggests increased perceptual salience—a factor directly affected by complexity. Additionally, EEG studies have been employed to investigate spatial perception processes in urban environments, offering insights into how pedestrians process movement-related visual information.

Discussion and Conclusion: Technical limitations pose a major challenge in the neuro-urbanism approach. The integration of neural, cognitive, and environmental data requires interdisciplinary collaboration between neuroscientists and urban researchers, yet differing perspectives across disciplines complicate consensus-building. One primary limitation of EEG in urban settings is its difficulty in capturing the dynamic and fluid nature of pedestrian experiences. Another challenge is the complex interplay of multiple variables influencing visual complexity perception. Additionally, contextual variability in neural responses due to cultural, social, and environmental factors presents a methodological challenge. Despite these challenges, EEG remains a cost-effective and high-resolution technique for studying visual complexity perception in urban settings. EEG can also objectively measure subjective complexity perception and assess memory-related neural activity. However, due to its technical limitations and the necessity of controlling confounding variables, virtual reality (VR)-based research is recommended.

Using VR in EEG studies allows for: Systematic manipulation of environmental variables while controlling factors such as familiarity, lighting, and non-visual stimuli that influence complexity perception. Simultaneous EEG data collection in controlled conditions, reducing interference from urban noise, temperature fluctuations, and other external variables. Eye-tracking integration, enabling researchers to assess gaze fixation, attentional focus, and direct interactions between visual stimuli and neural responses.

Declarations

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest related to this study.

Funding

Up to this stage of the research, no funding from government or private organizations has been used to advance the research.

Informed Consent

All participants in this study provided their written informed consent.

Authors' Contributions

Conceptualization & Study Design: Dr. Amir Shakibamanesh, Narges Ahmadpour; Data Collection & Management: Narges Ahmadpour; Data Analysis & Interpretation: Dr. Amir Shakibamanesh, Narges Ahmadpour; Visualization: Narges Ahmadpour; Writing (Original Draft): Narges Ahmadpour; Writing (Review & Editing): Dr. Amir

Shakibamanesh, Narges Ahmadpour; Project Administration: Dr. Amir Shakibamanesh; Validation & Final Approval: All authors have reviewed and approved the final manuscript.

Acknowledgments

No acknowledgments were reported by the authors.

References

1. Adli, M. (2011). Urban stress and mental health. Nature, 474(7349), 452–454.
2. Banaei, M., Yazdanfar, A., Nooreddin, M., & Yoonessi, A. (2015). Enhancing urban trails design quality by using electroencephalography device. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 201, 386-396.
3. Boeing Geoff, 2018, Measuring the Complexity of Urban Form and Design, pre print of Urban design International.
4. Cassarino M and Setti A ,2016, Complexity As Key to Designing Cognitive-Friendly Environments for Older People. Front. Psychol. 7:1329. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01329
5. Chiao, J. Y., & Ambady, N. (2010). Cultural neuroscience: Parsing universality and diversity across levels of analysis. Handbook of Cultural Psychology, 237–254. (academic.oup.com)
6. Cohen, M. X. (2014). Analyzing neural time series data: theory and practice. The MIT Press.
7. Cupchik, G. C., & Berlyne, D. E. (1979). The perception of collative properties in visual stimuli. Scandinavian journal of psychology, 20(1), 93-104.
8. Donderi, D. C. ,2006, Visual complexity: A review. Psychological Bulletin, 132(1), 73-97. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.1.73
9. Ellard, C. (2015). Places of the heart: The psychogeography of everyday life. Bellevue Literary Press.
10. Ellard, C. (2015). Places of the heart: The psychogeography of everyday life. Bellevue literary press.
11. Elsheshtawy Yasser, 1997, Urban Complexity: Toward The Measurment of the Physical Complexity of treet-scape, Journal of Architectural and Planning Research Vol. 14, No., pp. 301 316,Published by: Locke Science Publishing Company, Inc.
12. Frumkin, H., Bratman, G. N., Breslow, S. J., Cochran, B., Kahn, P. H., Lawler, J. J., Levin, P. S.,.
13. Hagerhall, C. M., Purcell, T., & Taylor, R. (2004). Fractal dimension of landscape silhouette outlines as a predictor of landscape preference. Journal of environmental psychology, 24(2), 247-255.
14. Huo Juan, 2015, A measurement method for the mismatch between the image target and salient points as a metric for image complexity, in Science and Information Conference (SAI), pp. 645–649.
15. Huo Juan, 2016, An Image Complexity Measurement Algorithm with Visual Memory Capacity and an EEG Study, SAI Computing Conference, July 13-15, 2016, London, UK.
16. Kacha, L., Matsumoto, N., & Mansouri, A. (2015). Electrophysiological evaluation of perceived complexity in streetscapes. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14(3), 585-592.
17. Lynch, K. (1960). The image of the city. MIT Press.
18. Malik, A. S., & Amin, H. U. (2017). Designing EEG experiments for studying the brain: Design code and example datasets. Academic Press.
19. Mavros, P., Austwick, M.Z. & Smith, A.H., 2016, Geo-EEG: Towards the Use of EEG in the Studyof Urban Behaviour, Appl. Spatial Analysis , 9: 191. https://doi.org/10.1007/s12061-015-9181-z.
20. Mavros, P., Coyne, R., Roe, J., & Aspinall, P. A. ,2012, Engaging the brain: implications of mobile EEG for spatial representation. In Proceedings of the 30th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, September 12-14 2012, Prague, Czech Republic: Digital Physicality (Vol. 2, pp. 657-665)
21. Müller, V., Lutzenberger, W., Preißl, H., Pulvermüller, F., & Birbaumer, N. (2003). Complexity of visual stimuli and non-linear EEG dynamics in humans. Cognitive Brain Research, 16(1), 104-110.
22. Ode, Å., Hagerhall, C. M., & Sang, N. (2010). Analysing visual landscape complexity: theory and application. Landscape research, 35(1), 111-131.

23. Portella Adriana ,2014, Visual Pollution Advertising, Signage and Environmental Quality, Oxford Brookes University, The Joint Centre for Urban Design, UK .
24. Post, R. (2016). The beauty of Unity-in-Variety: Studies on the multisensory aesthetic appreciation of product designs.
25. Rapoport Amos , Hawkes Ron ,1970, The Perception Of Urban Complexity, Journal of the American Institute of Planners36:2, 106-111.
26. Rapoport Amos , Kantor Robert E. ,1967, Complexity and Ambiguity in Environmental Design, Journal of the American Institute of Planners, 33:4, 210-221.
27. Rapoport Amos , Kantor Robert E. ,1967, Complexity and Ambiguity in Environmental Design, Journal of the American Institute of Planners, 33:4, 210-221.
28. Salingaros Nikos A, 2017, How Neuroscience Can Generate a Healthier Architecture,Conscious Cities Journal No.3, Conscious Cities Anthology 2018: Human-Centred Design, Science, and Technology.
29. Salingaros, N. (2017). Why we need to “grasp” our surroundings: Object affordance and prehension in architecture. Journal of Architecture and Urbanism, 41(3), 163-169.
30. Salingaros, N. A. (2000). Complexity and urban coherence. Journal of Urban Design, 5(3), 291–297.
31. Salingaros, N. A., & Masden, K. (2008). Neuroscience, the natural environment, and building design. Biophilic design: The theory, science and practice of bringing buildings to life, 41(3).
32. Sanei, S., & Chambers, J. A. (2013). EEG signal processing. John Wiley & Sons.
33. Tawil, N., & Kühn, S. (2024). The built environment and the brain: Review of emerging methods to investigate the impact of viewing architectural design. In Environmental Neuroscience (pp. 169–226). Springer. (link.springer.com)
34. Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. Journal of Environmental Psychology, 11(3), 201–221.
35. Van Humbeeck, N., Meghanathan, R. N., Wagemans, J., Van Leeuwen, C., & Nikolaev, A. R. (2018). Presaccadic EEG activity predicts visual saliency in free-viewing contour integration. Psychophysiology, 55(12), e13267.
36. Vidal, F. (2017). Exploring the brain in the city: Neuroscience and urbanism. Frontiers in Human Neuroscience, 11, 482–486.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Note for Readers:
This paper contains an identical English abstract in two sections:
Abridged Paper: To provide an overview for international readers.
Persian Section: To meet the standardized structure of Persian academic publications.
This repetition is intentional to ensure alignment with academic standards and facilitate readability for both audiences. Readers are encouraged to review the full paper for comprehensive details.

یادداشت برای خوانندگان:
این مقاله شامل یک چکیده انگلیسی در دو بخش است:
بخش Abridged Paper: برای ارائه یک دید کلی به خوانندگان بین‌المللی.
بخش فارسی: به‌منظور رعایت استانداردهای ساختار مقالات علمی فارسی.
تکرار این چکیده، با هدف انطباق با استانداردهای علمی و تسهیل مطالعه برای هر دو گروه از مخاطبان طراحی شده است. خوانندگان می‌توانند برای دریافت جزئیات کامل، به متن اصلی مقاله مراجعه کنند.

© [2025] by the author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). The authors retain copyright, and this work may be shared and redistributed with proper attribution.
License link: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

CC BY 4.0

© [۲۰۲۵] نویسنده(گان). این مقاله تحت مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) منتشر شده است. نویسنده(گان) مالک حقوق مادی و معنوی اثر خود هستند، و این مقاله می‌تواند با ذکر منبع مورد استفاده، بازنشر و توزیع شود.
لینک مجوز: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران. دوره ۱. شماره ۲. صفحات ۲۶۸-۲۴۳. پاییز و زمستان۱۴۰۳

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران
International Journal of Iranian Urban Design Studies (IUDS)
https://iuds.shirazu.ac.ir/

مقاله مروری

کاربرد نوروشهرسازی در طراحی شهری: ارزیابی تأثیرات پیچیدگی بصری بر پاسخ‌های عصب‌شناختی عابران پیاده*

امیر شکیبامنش [۱]، نرگس احمدپور [۲،**]

۱. دانشیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.

چکیده

رشد شتابان شهرها در غیاب ضوابط کنترلی مؤثر، پاسخگویی شهرها به نیازهای شناختی و فیزیولوژیکی شهروندان را با بحران مواجه کرده است. نوروشهرسازی به‌عنوان رویکردی نوظهور، با ادغام شهرسازی، روان‌شناسی محیطی و عصب‌شناسی، به تحلیل بازخوردهای عصبی مغز در برابر محیط‌های شهری می‌پردازد تا تعامل مثبت انسان و محیط بازسازی شود. در این میان پیچیدگی بصری به‌عنوان عاملی که عدم تعادل در آن مستقیماً با فیزیولوژی انسان در ارتباط است، در چارچوب این رویکرد می‌تواند از منظری جدید مورد مطالعه قرار گیرد. پژوهش حاضر پس از بررسی مفهوم پیچیدگی بصری در طراحی شهری، به طیف بهینهٔ پیچیدگی بصری پرداخته و به معرفی امکانات نوروشهرسازی در بررسی این فاکتور محیطی می‌پردازد. پژوهش‌های اخیر در حوزهٔ نوروشهرسازی نشان داده است که رابطهٔ میان وحدت و تنوع در محیط‌های شهری را می‌توان ازطریق تحلیل سرعت پردازش عصبی داده‌های بصری بررسی کرد. شواهد تجربی حاکی از آن است که امواج بتا با میزان پیچیدگی فرم‌های فراکتال ارتباط مستقیم دارند. داده‌های حاصل از الکترونسفالوگرافی (EEG) نشان می‌دهد که این ابزار می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بررسی تجربیات شناختی مرتبط با وحدت و تنوع و همچنین سرعت پردازش عصبی به کار رود. علاوه بر این، نوسانات فرکانس تتا در نواحی پیشانی و بالای پیشانی با عملکردهای شناختی نظیر حافظهٔ کاری، حافظهٔ اپیزودیک و جهت‌یابی ارتباط معناداری دارد. افزایش دامنهٔ فعالیت سیگنال‌های EEG اغلب بیانگر کاهش نمایانی عناصر محیطی است، درحالی‌که کاهش دامنهٔ این سیگنال‌ها به افزایش نمایانی این عناصر اشاره دارد. در نهایت، محدودیت‌های فنی ابزارهای نقشه‌برداری عصبی در محیط‌های واقعی، ازجمله حساسیت به نویزهای محیطی و حرکت، به‌عنوان چالش‌های اصلی شناسایی شده‌اند. به همین دلیل، استفاده از محیط‌های واقعیت مجازی (VR) به‌عنوان ابزاری نوین برای کنترل متغیرهای محیطی و کاهش اثر محدودیت‌های فنی پیشنهاد می‌شود. این رویکرد امکان دستکاری سیستماتیک متغیرهای مرتبط با پیچیدگی بصری و بهبود دقت در ثبت داده‌های عصبی را فراهم می‌آورد.

نکات شاخص

- معرفی طیف پیچیدگی بصری در ارتباط با فرم شهری و نه محرک‌های انتزاعی معمول در مطالعات آزمایشگاهی
- معرفی نورو شهرسازی و پتانسیل‌های روش‌شناسانه آن به‌عنوان یکی از جریانات نوظهور واجد کاربرد در حوزه مطالعه پیچیدگی بصری
- بررسی روش‌های مختلف ثبت گرافیکی امواج مغزی، و معرفی روش الکترونسفالوگرافی به‌عنوان ابزاری مناسب جهت مطالعه اثرات نورولوژیک پیچیدگی بصری کالبد شهری، در قالب روش الکتروفیزیولوژی شناختی
- – جمع‌آوری و تحلیل مطالعات الکترونسفالوگرافی در ارتباط با طیف پیچیدگی بصری و معرفی فاکتورهای مورد ارزیابی
- – بررسی محدودیت‌های فنی و زمینه‌ای رویکرد نورو- شهرسازی در مطالعه طیف پیچیدگی بصری کالبد شهری

© [۲۰۲۵] نویسنده(گان).

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۴۰۳/۰۷/۱۳
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۹/۱۴
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

واژگان کلیدی

نوروشهرسازی
پیچیدگی بصری
امواج مغزی
نقشه‌برداری عصبی
واقعیت مجازی

نحوه ارجاع دهی به این مقاله

شکیبامنش، امیر.، و احمدپور، نرگس. (۱۴۰۳). کاربرد نوروشهرسازی در طراحی شهری: ارزیابی تأثیرات پیچیدگی بصری بر پاسخ‌های عصب‌شناختی عابران پیاده. *نشریه علمی مطالعات طراحی شهری ایران*، ۱ (۲)، ۲۶۸-۲۴۳.

*این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ دوم، نرگس احمدپور با عنوان «ارزیابی تأثیر پیچیدگی بصری نماهای شهری بر مانایی ذهنی فرم کالبدی از دیدگاه عابرین پیاده، با بهره‌گیری از ثبت گرافیکی امواج مغزی (EEG) در محیط واقعیت مجازی؛ نمونهٔ موردی: مرکز شهر تهران» به راهنمایی نویسندهٔ اول، آقای دکتر امیر شکیبامنش است.

**آدرس پستی نویسندهٔ مسئول: narges.ahmadpour35435@gmail.com

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران. دوره ۱. شماره ۲. صفحات ۲۶۸-۲۴۳. پاییز و زمستان۱۴۰۳

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران

International Journal of Iranian Urban Design Studies (IUDS)

https://iuds.shirazu.ac.ir/

REVIEW ARTICLE

The Application of Neuro-Urbanism in Urban Design: Evaluating the Effects of Visual Complexity on Pedestrians' Neurocognitive Responses*

Amir Shakibamanesh[1], **Narges Ahmadpour** [2,**]

1. Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran Art University, Tehran, Iran.
2. PHD Student, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran Art University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

The rapid growth of cities and the absence of effective regulatory frameworks, have disrupted the reciprocal interaction between humans and built environments. These challenges have compromised cities' ability to address the cognitive and physiological needs of their citizens. Neuro-urbanism, as an emerging approach, integrates urban planning, environmental psychology, and neuroscience to analyze neural feedback from the brain in response to urban environments, aiming to restore positive human-environment interaction. Among the various factors, visual complexity -directly linked to human physiology- can be reexamined within this framework from a novel perspective.

This study explores the concept of visual complexity in urban design, introduces the optimal spectrum of visual complexity, and identifies the capabilities of neuro-urbanism in examining this environmental factor. Recent studies in neuro-urbanism reveal that the relationship between unity and diversity in urban environments can be assessed through the analysis of neural processing speed for visual data. Empirical evidence indicates a direct correlation between beta waves and the complexity of fractal forms. Data obtained from electroencephalography (EEG) demonstrate that this tool can effectively examine cognitive experiences related to unity and diversity as well as neural processing speed. Additionally, theta frequency oscillations in frontal and prefrontal areas show significant associations with cognitive functions such as working memory, episodic memory, and spatial orientation. Increases in EEG signal amplitude often signify reduced salience of environmental elements, while decreases in amplitude indicate heightened salience. Finally, technical limitations of neuroimaging tools in real-world environments -such as sensitivity to environmental noise and movement- have been identified as major challenges. To address these issues, virtual reality (VR) environments are proposed as innovative tools to control environmental variables and mitigate technical constraints. This approach enables systematic manipulation of visual complexity variables and enhances the accuracy of neural data recording.

Highlights

- Introduction of the visual complexity spectrum in relation to the urban form, rather than the abstract stimuli commonly used in laboratory studies.
- Presentation of neuro-urbanism and its methodological potential as an emerging interdisciplinary approach with applicability in studying visual complexity.
- Examination of various brainwave recording techniques, with a focus on electroencephalography (EEG) as an appropriate tool for studying the neurological effects of visual complexity in the urban form within the framework of cognitive electrophysiology.
- Collection and analysis of electroencephalography studies related to the visual complexity spectrum, and the introduction of key factors for evaluation.
- Exploration of technical and contextual limitations in the neuro-urbanism approach when studying the visual complexity spectrum in urban environments.

© [2025] by the author(s).

ARTICLE INFO

Received	04/10/2024
Revised	05/11/2024
Accepted	04/11/2024
Available Online	19/01/2025

Keywords

Neuro-urbanism
Visual Complexity
Brain Waves
Neuroimaging
Virtual Reality

Citation of the article

Shakibamanesh, A., & Ahmadpour, N. (2025). The application of neuro-urbanism in urban design: Evaluating the effects of visual complexity on pedestrians' neurocognitive responses. *International Journal of Iranian Urban Design Studies*, 1(2), 243–268.

*This article is extracted from the doctoral dissertation of the author, [Narges Ahmadpour], titled "[Evaluating the effect of urban Façade complexity on memorability of physical form for pedestrians, by Electroencephalography(EEG) in virtual reality (VR) environment. Case study: Tehran city center]," supervised by [Dr Amir Shakibamanesh] at [Tehran Art University].

**Author Corresponding:
Email: narges.ahmadpour35435@gmail.com

مقدمه

الگوهای ذهنی انسان در تعامل دوسویه‌ای که در طول تاریخ میان ذهن انسان و محیط وجود داشته است، ضمن تأثیرپذیری از الگوهای طبیعی، در شکل‌گیری مصنوعات ساختهٔ انسان و در واقع در روشی که محیط را به نظم درمی‌آورد، ظهور یافته‌اند (Salingaros & Masden, 2008: 9). اما به نظر می‌رسد این تعامل دوسویه و هماهنگی میان ساختارهای ادراکی و مصنوعات بشر با سرعت یافتن روند رشد شهرها و به‌تبعِ آن طراحی و تولید، در دوران مدرن با مسئله مواجه شده است. در غیاب این الگوهای سازمان‌دهنده، شهرسازی و معماری معاصر، با فاصله گرفتن از قوانین حاکم بر این نظم ساختاری که در انطباق با ساختار ذهنی ما قرار داشتند، برخلاف گذشته سکونتگاه‌هایی را به وجود می‌آورند که تأثیر مخربی بر روان انسان دارند (Session& Salingaros, 2010: 3). ناکارآمدی ضوابط کنترلی برای هدایت شهرها و همچنین حضور مسلط اتومبیل و بی‌توجهی به نیازهای عابرین پیاده به‌ویژه به‌دلیل تفاوت ادراک پیچیدگی در سرعت‌های متفاوت ازسوی افراد سواره و پیاده ازیک‌سو، بروز اضافه‌بار ادراکی ناشی از اغتشاش بصری ازسوی‌دیگر، فقدان محرک‌های حسی ضروری برای نیازهای عملکردی و فیزیولوژیکی عابرین پیاده را در پی داشته است. این امر پیچیدگی را به‌عنوان یک مسئله برای شهرهای معاصر مطرح می‌سازد و ضرورت توجه روزافزون به نیازهای فیزیولوژیکی و شناختی شهروندان به‌ویژه عابرین پیاده را باهدفِ افزایش سلامت عمومی و کارایی عملکردی مطرح می‌سازد.

پس از توسعه‌های تکنولوژیک اخیر و ساخت ابزارهای دقیق، قابل حمل و ارزان‌قیمت در حوزهٔ عصب‌شناسی شاهد کاربست روزافزون حوزهٔ عصب‌روان‌شناسی در مطالعات معماری و شهرسازی هستیم. نتیجهٔ این روند شکل‌گیری نوروشهرسازی (عصب‌شناسی شهری) به‌عنوان یک حوزهٔ بین‌رشته‌ای نوظهور است. عصب‌شناسی، طراحی شهری و روان‌شناسی محیطی را برای بررسی تأثیر محیط‌های شهری بر عملکرد مغز انسان و رفتار ناشی از آن ترکیب می‌کند. این حوزه تلاش می‌کند فاصلهٔ میان برنامه‌ریزی شهری و نیازهای فیزیولوژیکی و روان‌شناختی انسان‌ها را(Ellard, 2015: 37) ازطریق پرداختن به پاسخ‌های عصبی و شناختی تحریک‌شده توسط فرم‌های شهری پر کند و در نتیجه برای طراحی شهری مبتنی‌بر داده‌های فیزیولوژیکی و شناختی جمع‌آوری‌شده، درکی از فرایندهای شناختی فراهم آورد. هدف این مقاله بررسی ادراک طیف پیچیدگی بصری توسط عابران پیاده در فضای شهری و تأثیرات کارکردی آن همچون شکل‌گیری نقشهٔ ذهنی شهروندان، در کنار جنبه‌های تأثیرگزار بر سلامت شهروندان همچون پاسخ‌های اضطرابی و فیزیولوژیکی ناشی از اضافه‌بار ادراکی با رویکرد نوروشهرسازی است.

پیچیدگی بصری در طراحی شهری

مفهوم پیچیدگی بصری به‌طور اخص و ادراک آن در فضای شهری، مدت‌ها به‌صورت شهودی مورد توجه و اشاره بوده است؛ برای مثال گوردن کالن (۱۹۶۱) به لزوم شدت بخشیدن به اختلافات بین مکان‌ها برای تقویت جلوه‌های حسی و هماهنگ کردن آن‌ها به‌جای تقلیل آن‌ها به‌گونه‌ای که همهٔ مکان‌ها یکسان باشند، اشاره می‌کند (Rapoport & Kantor ,1967: 219). اما این غلبهٔ معماری و شهرسازی مدرن بود که پیچیدگی را به‌عنوان یک مسئله مطرح کرد. متفکران ازجمله جین جیکوبز، کریستوفر الکساندر و راپاپورت مشکل اساسی معماری و طراحی شهری معاصر را در مقولهٔ پیچیدگی می‌دانند. به عقیدهٔ راپاپورت معماری و شهرسازی معاصر به حدی ساده شده و تصفیه شده است که طیفی از معانی و امکانات در آن از بین رفته است. طیف وسیعی از ورودی ادراکی، از محرومیت حسی (یکنواختی) تا اشباع حسی (هرج‌ومرج) قابل تعریف است (Rapoport & Kantor, 1967: 211). ساده‌سازی بیش از حد توسط جنبش مدرن، نیازهای روان‌شناختی انسان را در راستای علاقهٔ بصری نادیده می‌گیرد.

مفهوم پیچیدگی بصری، واجد پتانسیل بالایی برای پل زدن میان رشته‌های مختلف دانسته شده است (Ode et al,2010: 112). اگر به رشته‌های مرتبط با ادراک و تجربهٔ انسان از محیط نگاه کنیم، تحقیقاتی که موضوع پیچیدگی را در بر می‌گیرد، به دو دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند: آن‌هایی که با مطالعات تجربی شامل محرک‌های ساخته‌شدهٔ مصنوع کار می‌کنند و آن‌هایی که هدفشان مطالعهٔ پیچیدگی در یک زمینهٔ محیطی است (Ode et al, 2010: 113). از میان این رشته‌ها، بسیاری از جریانات تأثیرگذاری که در حوزهٔ ادراک محیطی، به مطالعهٔ ادراک پیچیدگی بصری در شهر پرداخته‌اند، با رجوع به مطالعاتی که پیش‌تر در حوزهٔ ادراک پیچیدگی در روان‌شناسی صورت گرفته بود، شکل گرفته‌اند (Salingaros, 2017: 2). در مطالعات

حوزهٔ روان‌شناسی محیطی و زیبایی‌شناسی، ارتباط ویژگی‌های شناختی انسان با پیچیدگی محیطی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال ارنزویگ نیاز انسان به موقعیت‌های مبهم و ناتمام را به بسیاری از هنرها مرتبط می‌داند و حتی آرنهایم، روان‌شناس گشتالت از «نیاز ضروری برای حداقل پیچیدگی» سخن می‌گوید (Rapoport & Kantor, 1967: 211). بسیاری از این مطالعات معطوف به مطالعهٔ فرایندهای ادراک پیچیدگی، در ارتباط با زیبایی‌شناسی بوده‌اند. نتایج این پژوهش‌ها به‌تدریج وارد معماری و شهرسازی شده و به‌عنوان مبنایی در مطالعهٔ ادراک پیچیدگی کالبد شهر به کار رفته است. مطالعاتی که در راستای زیبایی‌شناسی فرمی انجام شده است، به‌دلیل پیوند ریشه‌ای که میان مفهوم زیبایی و پیچیدگی وجود دارد و تلاش‌هایی که در این حوزه برای اندازه‌گیری پیچیدگی انجام شده است، مبانی درخور توجهی برای تعریف و سنجش پیچیدگی در اختیار این پژوهش قرار می‌دهد. روان‌شناسان این حوزه پیچیدگی را به دو بخش فیزیکی و تصویری تقسیم کرده‌اند. پیچیدگی فیزیکی (عینی) به مؤلفه‌های عینی یک شیء و روابط بین عناصر آن اشاره می‌کند. پیچیدگی بصری (ذهنی) آنچه را که توسط بیننده درک می‌شود، در نظر می‌گیرد که بسته به شرایط و ویژگی‌های فردی متفاوت است. بنابراین، یک ارزیابی ذهنی از پیچیدگی است (Elsheshtawy, 1997: 303). بنابرین پیچیدگی ادراکی در محیط شهری ازیک‌سو تحت‌تأثیر خصوصیات محیطی شهر و ازسوی‌دیگر تحت‌تأثیر عوامل فردی است.

شکل ۱. عوامل تأثیرگذار بر پیچیدگی بصری ادراکی

اندیشمندان در جریان‌های متفاوت به اثرات شناختی و فیزیولوژیکی پیچیدگی بصری بر انسان پرداخته‌اند. از آن جمله می‌توان به بیوفیلیا که ساختارهای طبیعی را الگوی خود قرار داده است، طراحی انطباقی، فضای محدب و فراکتال‌ها اشاره کرد. این حوزه‌های فرعی مرتبط و دارای هم‌پوشانی پژوهش، رویکردی مبتکرانه را تعریف می‌کنند که در تلاش برای رهایی طراحی از پارادایم‌های تحمیل‌شده ناشی از صنعتی شدن طراحی هستند (Salingaros, 2017: 2). این رویکردها تلاش می‌کنند فارغ از سبک‌های زودگذر به الگوهایی دست یابند که ذهن بشر در راستای نظم‌دهی به محیط در طول تاریخ به‌صورت شهودی بدان‌ها دست یافته بوده است و امروزه تحت‌تأثیر الگوهای مدرن طراحی و تأکید بیش از اندازه بر تقلیل‌گرایی از میان رفته‌اند. این تلاش‌ها ازیک‌سو جدید هستند، زیرا در طراحی مدرنیستی و پست‌مدرنیستی قرن بیستم وجود نداشته‌اند و ازسوی‌دیگر در واقع جدید نیستند، زیرا در گذشته در روش‌های طراحی سنتی به کار می‌رفتند (Salingaros, 2010: 9). تمامی این ایده‌ها که اغلب به‌شکلی پراکنده و در دامنه‌های متفاوتی از دانش توسعه یافته‌اند، در حقیقت در تلاش برای دستیابی به شیوه‌های نظم‌دهی به پیچیدگی محیطی با توجه به نیازهای پایه‌ای انسان شکل گرفته‌اند.

توانایی تشخیص میزان پیچیدگی محرک‌ها حتی در سنین اولیهٔ زندگی انسان قابل شناسایی است. فنتزل دریافت که نوزادان مدت طولانی‌تری به اشکال با پیچیدگی بالا نگاه می‌کنند. به همین ترتیب، برلاین گزارش داد که وقتی وی نوزادان سه تا نه ماهه را با انتخاب سه الگوی مختلف از ساده تا پیچیده آزمایش کرد، توجه بصری آن‌ها به پیچیده‌ترین الگو بود و او این امر را به‌عنوان اولویت تعبیر کرد (Rapoport & Kantor, 1967: 212-213). با وجود این، این ترجیح پیچیدگی و ابهام بی‌حدومرز نیست. مک رینولدز و کسن مونسنجر خاطرنشان کردند که هر فرد فقط درجهٔ خاصی از ورودی ادراکی را ترجیح می‌دهد، درجه‌ای که بتواند از عهدهٔ آن برآید. محرک‌های بسیار ساده منجر به کسالت سریع می‌شوند. مواردی که بسیار

پیچیده هستند، منجر به سردرگمی و اجتناب می‌شوند. این امر نشان می‌دهد که برای هر فرد نرخ ادراکی بهینه وجود دارد (Rapoport & Kantor, 1967: 214) افراط و تفریط (پیچیدگی کم و زیاد) توسط ناظران مثبت ارزیابی نمی‌شود (Portella, 2014: 25-26) و میزانی از ادراک مطلوب (ایدئال) وجود دارد که فرد را قادر می‌سازد به‌تدریج جست‌وجو کند، رمزگشایی کند، ببیند و به محیط معنا بخشد (Rapoport & Kantor, 1967: 211). هب توضیحی عصب‌شناختی را به‌عنوان یک مبنای ممکن برای این ایده که ارجحیت بهینه یک طیف متوسط از محرک‌های برانگیختگی است، ارائه داد و دربارهٔ نحوهٔ افزایش آن ازطریق یادگیری بحث کرد (Rapoport & Kantor, 1967: 215). بنابراین در ارتباط با درک و ارزیابی کاربر، بین ابعاد عاطفی لذت و علاقه با پیچیدگی رابطه وجود دارد. در ارتباط با بعد «لذت»، این رابطه به‌شکل مستقیم تا رسیدن به میزان بهینه برقرار است. با عبور از این حد، رابطه معکوس می‌شود. محققان معتقدند که تلاش‌های زیادی برای تعریف این سطح بهینه انجام شده است، اما تعداد عواملی که بر درک کاربر و ارزیابی محیط فیزیکی تأثیر می‌گذارند، به حدی است که نمی‌توان تعریف مشخصی ارائه داد (Portella, 2014: 26). مطالعاتی توسط اندیشمندان در حوزه‌های گوناگون انجام شده است که سعی در ارائهٔ مدلی برای توضیح عوامل تأثیرگذار بر ادراک پیچیدگی محیطی داشته‌اند.

ترجیح دامنهٔ متوسطی از پیچیدگی که پیش‌تر در مبانی روان‌شناسی بارها مورد تأکید محققان قرار گرفته بود، در مطالعات حوزهٔ شهری نیز مشاهده می‌شود. برای مثال تحقیقات انجام‌شده توسط نسر و هونگ، مثلاً «ترجیحات بصری در علائم شهری» (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که دامنهٔ متوسطی از علائم تجاری توسط کاربران مثبت ارزیابی می‌شود (Portella, 2014: 26) مطالعات نشان می‌دهد که ترجیحات کاربران با سطح پیچیدگی متوسط مرتبط است. افراط و تفریط‌ها (پیچیدگی‌های کم و زیاد) توسط ناظران مثبت ارزیابی نمی‌شود (Portella, 2014: 26).پژوهش‌هایی با عنوان «پیچیدگی بصری خوب» باهدفِ دستیابی به یک نقطهٔ تعادل میان نظم و بی‌نظمی یا «وحدت در تنوع» انجام گرفته‌اند. پیچیدگی بصری خوب در یک نقطهٔ میانه در تعادل بین نظم و بی‌نظمی به حالت بهینهٔ خود می‌رسد (Boeing, 2018: 7; Elsheshtawy, 1997). فرض اولیهٔ این مطالعات شامل این نکته است که شهرها باید از سطح پیچیدگی متوسط برخوردار باشند و برانگیزانندهٔ حسی از «وحدت در تنوع» باشند (Elsheshtawy, 1997: 302).

پیچیدگی بصری خوب به تنوع در انواع ساختمان، جزئیات طراحی، مبلمان خیابانی، علائم، فعالیت‌های انسانی، الگوی حرکت نور خورشید و جزئیات بافت غنی درختان خیابانی و فضای سبز شهری بستگی دارد. پیچیدگی ضعیف هنگامی به وجود می‌آید که عناصر طراحی شهری بیش از حد اندک و قابل پیش‌بینی یا برای دریافت ادراک انسان بیش از حد نامنظم باشد. در این حالت، پیچیدگی از یک مقدار بهینه و یک نقطهٔ میانی بین نظم و بی‌نظمی پیروی می‌کند (Boeing, 2018: 7). به نظر می‌رسد که انگیختگی بهینه در جهت شناخت، به تجربهٔ محیط‌هایی که به اندازهٔ کافی برانگیزاننده و درعین‌حال بیش از اندازه چالش‌برانگیز نیستند، وابسته است. پیچیدگی محیطی در تعیین اینکه محیط چنین انگیختگی بهینه‌ای را فراهم می‌کند یا خیر، نقش مهمی دارد (Cassarino & setti, 2016: 1). در پیشینهٔ تحقیقاتی مرتبط این توافق وجود دارد که پیچیدگی شرط لازم برای رضایت زیبایی‌شناختی است. با وجود این، اختلاف‌نظر درخور توجهی وجود دارد که: آیا پیچیدگی را می‌توان یک دسته‌بندی عمومی از معانی در نظر گرفت؟ به‌عبارت‌دیگر آیا پیچیدگی معنای یکسانی برای افراد مختلف دارد؟ (Elsheshtawy, 1997: 303). افرادی که در مکان‌های مختلف زندگی می‌کنند، می‌توانند سطح تحمل متفاوتی نسبت به تغییر خصوصیات فیزیکی مناظر خیابانی داشته باشند (Portella, 2014: 25-26).

با وجود این، پیچیدگی تا حدودی به خصوصیات فیزیکی بستگی دارد که برای همهٔ افراد عادی یکسان خواهد بود و تا حدودی به چارچوب‌های فردی که از موضوعی به موضوع دیگر متفاوت است. بنابراین یک الگو ممکن است درجات مختلف پیچیدگی را برای افراد مختلف داشته باشد، اما بین آن‌ها همبستگی وجود خواهد داشت (Elsheshtawy, 1997: 303). گرچه هر شخص در دنیای خاص خود زندگی می‌کند، تشابهات در نحوهٔ زندگی اجتماعی، تجارب گذشته و محیط فعلی زندگی شهری در جمع باعث می‌شود بعضی از جنبه‌های تصور محیط در گروه‌های بزرگی از مردم مشترک و شبیه به هم باشد (کرمونا، ۱۳۸۸: ۱۷۱). بنابرین باوجود اینکه عوامل شخصی و فرهنگی بر درک صحنهٔ شهری تأثیر می‌گذارد، تنها می‌توانند اطلاعاتی را که محیط فیزیکی برای همه فراهم می‌کند، اصلاح نماید. اگرچه جنبه‌های مختلف چارچوب‌های فضای شهری، درختان یا مغازه‌ها ممکن است برای افراد مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد، نمونه‌های ذکرشده حاکی از آن است که می‌توان خصوصیات فیزیکی خاصی را که منجر به پیچیدگی می‌شود، مجزا کرد. این خصوصیات می‌توانند به اندازهٔ کافی برای

فرهنگ‌های مختلف عمومی باشد، حتی اگر اشکال محلی آن‌ها متفاوت باشد (Rapoport & Hawkes, 1970: 110). در نتیجه می‌توان یک سطح بهینهٔ پیچیدگی ادراکی را در ارتباط با ادراک پیچیدگی در شهر نیز مفروض دانست.

کاربردهای نوروشهرسازی در سنجش و طراحی پیچیدگی از دیدگاه عابرین پیاده

تلاش‌های انجام‌شده در حوزهٔ عصب‌شناسی، در طول دههٔ گذشته درک جدیدی از چگونگی تأثیرگذاری کالبد محیطی بر بدن و ذهن ما به وجود آورده است (Salingaros, 2017: 1). مکانیسم‌هایی که توضیح می‌دهند چگونه تغییرات سیستماتیک در ویژگی‌های محیط منجر به نتایج رفتاری خاصی می‌شود (Banae et al, 2015: 38). داده‌های علوم اعصاب از این طریق می‌توانند نقش مهمی در از میان بردن شکاف مفهومی میان مبانی طراحی شهری و روان‌شناسی با توضیح برخی از مکانیسم‌های زمینه‌ای داشته باشند. این پژوهش‌ها شیوه‌های نظم‌دهی به محیط را نه به‌عنوان یک مسئلهٔ زیبایی‌شناسانه که به‌عنوان مسئله‌ای که سیستم عصبی ما متمایل به ارتباط برقرار کردن با آن‌ها در محیط است (Salingaros, 2017: 1-5)، مورد بررسی قرار می‌دهند. این رویکرد با بررسی فرایندهای عصب‌شناختی درگیر در فرایند ادراک فضایی سعی در توضیح نحوهٔ تأثیرپذیری ادراک و احساس کاربران فضا و همچنین دستیابی بی‌واسطه به ادراک آن‌ها دارند.

این ابزار جدید می‌تواند ضعف‌های روش‌شناختی پیشین در استخراج ادراکات فضایی را پوشش دهد. از این طریق انسان در آستانهٔ یک رویکرد نوآورانه در طراحی ساختمان‌ها و شهرها تحت‌تأثیر علم به‌جای تحلیل‌های انتزاعی و زیبایی‌شناسانه قرار دارد (Salingaros, 2017: 1). پژوهش‌های عصب‌شناسی موفق به شناسایی موقعیت نورون‌ها و فرایندهای عصبی مغز که ادراک پیچیدگی را ممکن می‌سازند و همچنین ارائهٔ اطلاعات درزمینهٔ فرایندهای فیزیولوژیک و شناختی زمینه‌ای مرتبط با حرکت در فضای شهری شده‌اند.

نوروشهرسازی یک حوزهٔ بین‌رشته‌ای نوظهور است که عصب‌شناسی، طراحی شهری و روان‌شناسی محیطی را برای بررسی تأثیر محیط‌های شهری بر عملکرد مغز انسان و رفتار ناشی از آن ترکیب می‌کند. این حوزه تلاش می‌کند فاصلهٔ میان برنامه‌ریزی شهری و نیازهای فیزیولوژیکی و روان‌شناختی انسان‌ها را پر کند (Ellard, 2015: 37). هدف اصلی این رویکرد درک نحوهٔ تعامل مغز و محیط است. نوروشهرسازی تأثیر جنبه‌های فیزیکی و حسی محیط‌های شهری بر فعالیت مغز، احساسات، حافظه و تصمیم‌گیری را بررسی می‌کند(Adli, 2011: 452) و بر مکانیسم‌های عصبی مرتبط با جهت‌یابی فضایی، توجه و استرس تمرکز دارد.

نوروشهرسازی با استفاده از ابزارهای عصب‌شناختی مانند EEG (الکتروانسفالوگرافی) و fMRI (تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی)، بینشی تجربی در خصوص واکنش‌های انسان به محیط‌های شهری ارائه می‌دهد (Vidal, 2017: 5). با استفاده از این روش‌ها، پژوهشگران این حوزه به دنبال آن اصول و روش‌های طراحی فضاهای شهری هستند که سلامت روان را ارتقا و استرس را کاهش می‌دهد (Frumkin et al., 2017: 2) و در نهایت رفاه شناختی را بهبود می‌بخشد. در خصوص پیچیدگی بصری، نوروشهرسازی بررسی می‌کند که چگونه پیچیدگی بصری (مانند الگوها و بافت‌های ساختمان‌ها) بر پردازش‌شناختی تأثیر می‌گذارد و بر تعادل بین محیط‌های تحریک‌کننده و کسالت‌بار تأکید دارد (Salingaros, 2000: 294). همچنین بررسی می‌کند که چگونه پیکربندی شهری و جانمایی نشانه‌ها بر فرایندهای حافظه و جهت‌یابی تأثیر می‌گذارد و از داده‌های عصبی برای ساختن محیط‌هایی که به ایجاد نقشه‌شناختی کمک می‌کند، بهره می‌برد (Lynch, 1960:46). تکنیک‌های متفاوتی از ثبت گرافیکی امواج مغزی و سایر روش‌های متداول در علوم اعصاب شناختی در این رویکرد استفاده می‌شوند.

روش‌های پژوهشی در رویکرد عصب‌روان‌شناسی

روش‌های پژوهشی در رویکرد عصب‌شناسی به‌عنوان رویکردی میان‌رشته‌ای دربرگیرندهٔ ترکیبی از روش‌های عصب‌شناسی، علوم شناختی و تحلیل‌های رفتاری است. برای مثال با بهره‌گیری از EEG فعالیت مغزی مرتبط با محرک‌های شهری را به‌صورت هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند (Vidal, 2017: 6). با استفاده از fMRI مناطق مغزی فعال‌شده در طول تجربهٔ فضاها را شناسایی (Adli, 2011: 453) و با استفاده از ردیابی چشم، الگوهای توجه بصری در محیط‌های شهری را بررسی می‌کند (Ellard, 2015: 40). در فرایندهای تحلیل رفتاری داده‌های عصبی با مشاهدات رفتاری ترکیب می‌شود تا نحوهٔ تصمیم‌گیری، مسیریابی و تنظیم استرس در بافت‌های شهری تحلیل شود (Frumkin et al, 2017: 4). در طول این فرایندهای تحلیلی محیط

واقعیت مجازی (VR) امکان آزمایش‌های کنترل‌شده با شبیه‌سازی فضاهای شهری و تجزیه‌وتحلیل متغیرهای محیطی را فراهم می‌کند (Ellard, 2015: 43). پیشرفت‌های اخیر صورت‌گرفته در علوم اعصاب، به‌ویژه تولید دستگاه‌های کم‌هزینه و قابل حمل ثبت گرافیکی امواج مغزی، دستیابی بی‌واسطه به فرایندهای زمینه‌ای ادراک، شناخت و شکل‌گیری حافظهٔ عابرین در حال حرکت در فضای شهری را ممکن ساخته است.

ثبت گرافیکی امواج مغزی

انواع روش‌های ثبت فعالیت‌های مغز

ثبت تصویربرداری مغز شامل روش‌های همودینامیک و تکنیک‌های الکترومغناطیسی است.

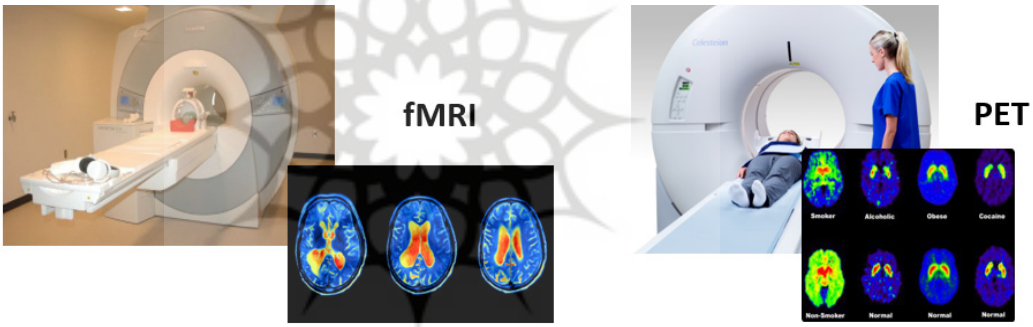
- روش همودینامیک[1] شامل دو نوع است:

تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی[2] (fMRI) که براساس ثبت تغییرات جریان خون در مغز عمل می‌کند و توموگرافی انتشار پوزیترون[3] (PET) که از مواد رادیواکتیو برای ثبت فعالیت عصبی استفاده می‌کند (وضوح فضایی عالی (۱-۲ میلی‌متر) و وضوح زمانی کم (۱ ثانیه)).

- تکنیک‌های الکترومغناطیسی[4] شامل دو روش است:

انسفالوگرافی مغناطیسی[5] (MEG) و نوار مغزی یا الکتروانسفالوگرافی[6] (EEG) (دارای وضوح فضایی کم (به‌ویژه EEG) و وضوح زمانی عالی (۱ میکروثانیه)).

هریک از این روش‌ها براساس نوع منطقهٔ مغز و پدیده عصبی مورد بررسی مناسب هستند (Mavros et al, 2016: 195).



شکل ۲. دستگاه‌های PET و fMRI و نمونه‌ای از خروجی هریک از این دستگاه‌ها

EEG: درحالی‌که EEG تفکیک زمانی کمتر از ۱ میلی‌ثانیه دارد، معمولاً بررسی فعالیت عصبی از مناطق نزدیک به سطح جمجمه (قشر مغزی)(دا سیلوا و F 2009) محدود می‌شود. البته تکنیک‌های بازسازی منبع سه‌بعدی جدید می‌توانند به‌طور جزئی این مسئله را حل کند.

fMRI: دارای وضوح فضایی مناسب برای بررسی سیستم‌های عمقی مغز مانند هیپوکامپ یا آمیگدال و واکاوی آن‌ها به‌صورت غیرتهاجمی است. تجهیزات fMRI یا MEG بزرگ‌اند. بعضی از آن‌ها بسیار پُرسروصدا هستند و محدودیت‌هایی برای حالت قرارگیری شرکت‌کنندگان دارند. برای مثال در fMRI سوژه‌های مورد بررسی باید در طول آزمایش به‌صورت افقی بمانند.

شکل ۳. نمونه‌هایی از دستگاه‌های MEG و EEG به دو صورت قابل حمل و ثابت

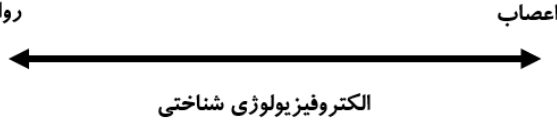
در مجموع تکنیک EEG کمتر محدودکننده است. سبک‌وزن است و می‌تواند بی‌سیم باشد و ابزارهای تحلیلی جدید هرچه بیشتر با حرکات سر و بدن منطبق می‌شود. حتی اجازه می‌دهد که شرکت‌کنندگان آزادانه راه بروند. این ویژگی‌ها موجب شده است در بسیاری از پژوهش‌ها به‌ویژه در بررسی‌های محیطی کاربرد وسیعی داشته باشد (Banae et al, 2015: 388; Mavros et al, 2012: 649; Mavros et al, 2016: 193).

الکتروانسفالوگرافی (EEG)

پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، به‌ویژه تجهیزات EEG ارزان‌قیمت و ابزارهای تجزیه‌وتحلیل با دسترسی آزاد، امکان استفاده از EEG را که پیش‌تر مختص زمینه‌های پزشکی بالینی یا علوم اعصاب بود، به زمینه‌های جدید تحقیق می‌دهد. اطلاعات مستقیم دربارهٔ وضعیت عاطفی یا بار شناختی کاربر، ابزاری را برای سنجش پاسخ افراد به محرک‌ها (بازی‌ها، محصولات، تبلیغات، طرح‌ها) و اعمال بازخوردهای آن در اختیار پژوهشگران و طراحان قرار می‌دهد. به‌ویژه ماهیت سیار سیستم‌های تجاری EEG جدید، علاقه به نحوهٔ پاسخ دادن به مردم و نحوهٔ ارزش‌گذاری فضاها و محیط‌هایی را که در آن ساکن هستند و حرکت می‌کنند، مجدداً احیا نموده است (Mavros et al, 2016: 192). همچنین EEG در حوزه‌های مختلف ادراک فضایی، معماری، طراحی شهری، برنامه‌ریزی، روان‌شناسی محیطی و تجزیه‌وتحلیل فضایی مورد استفاده قرار گرفته و کاربرد آن رو به گسترش است.

این مطالعات در دستهٔ مطالعات الکتروفیزیولوژی شناختی قرار می‌گیرند و به بررسی چگونگی اجرای عملکردهای شناختی (شامل ادراک، حافظه، زبان، احساسات، پایش/ کنترل رفتار و شناخت اجتماعی) توسط فعالیت الکتریکی تولیدشده با جمعیت‌های نورونی می‌پردازد. الکتروفیزیولوژی شناختی یک حوزهٔ گسترده است که طیفی از پژوهشگران را در بر می‌گیرد (Cohen, 2014: 3). در یک سوی این طیف، پژوهشگرانی قرار دارند که عمدتاً به فرایندهای شناختی علاقه‌مند هستند. برای این دسته از دانشمندان، در این سوی طیف، طراحی وظایف و توسعهٔ نظریه‌ها بسیار مهم است، درحالی‌که تحلیل‌های پیشرفتهٔ داده‌ها و تفسیرهای دقیق نوروفیزیولوژیکی اهمیت کمتری دارند. درک سازوکارهای عصبی در اینجا مهم است، اما در نهایت هدف پژوهش، تجزیه‌وتحلیل و درک مؤلفه‌های شناختی رفتار است، نه ویژگی‌های فیزیولوژیکی مغز (Cohen, 2014: 3). در سوی دیگر طیف، پژوهشگرانی هستند که عمدتاً به کشف ویژگی‌های عملکردی شبکه‌های عصبی علاقه‌مندند و از پارادایم‌های شناختی به‌عنوان ابزاری برای القای الگوهای خاص فعالیت عصبی استفاده می‌کنند.

در این سوی طیف، تحلیل‌های پیشرفتهٔ داده‌ها و تفسیرهای نوروفیزیولوژیکی از نتایج بیشترین اهمیت را دارد و وظایف شناختی (در صورت استفاده) معمولاً تا حد امکان ساده هستند و شامل شرایط کم و تعداد زیادی آزمون می‌شوند. نظریه‌های شناختی به‌عنوان چارچوب‌های تفسیری مفید هستند، اما در نهایت هدف پژوهش، درک چگونگی عملکرد مغز است، نه تجزیهٔ مؤلفه‌های رفتار (Cohen, 2014: 3). طیف مطالعات شهری را می‌توان به‌واسطهٔ تمرکز بر فرایندهای شناختی و مطالعات روان‌شناسی شناختی متمرکز دانست.



الکتروفیزیولوژی شناختی به‌صورت طیفی از شناخت تا الکتروفیزیولوژی تعریف می‌شود. جایگاهی که محقق در این طیف برای خود تعریف می‌کند، نتایج متفاوتی را در طراحی آزمایش‌ها، فرضیات و تحلیل داده‌ها به دنبال دارد (Cohen, 2014: 3). این امر سبب گستردگی کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی به روش الکتروانسفالوگرافی در مطالعات الکتروفیزیولوژی شناختی شده است. دلایل متعددی وجود دارد که چرا تکنیک‌های با وضوح زمانی بالا مانند EEG ابزارهای استثنایی برای مطالعهٔ فرایندهای عصب‌شناختی هستند. دلیل اول این است که این روش‌ها دینامیک‌های شناختی را در بازه زمانی‌ای ثبت می‌کنند که شناخت در آن رخ می‌دهد. فرایندهای شناختی، ادراکی، زبانی، احساسی و حرکتی بسیار سریع هستند. بیشتر فرایندهای شناختی در بازه‌های زمانی چند ده تا چند صد میلی‌ثانیه رخ می‌دهند. علاوه بر این، رخدادهای شناختی در توالی زمانی‌ای اتفاق می‌افتند که ممکن است از چند صد میلی‌ثانیه تا چند ثانیه طول بکشد.

تکنیک‌های با وضوح زمانی بالا برای ثبت این رخدادهای سریع، پویا و توالی‌یافته زمانی مناسب است. در مقایسه، دقت زمانی پاسخ همودینامیکی ۲ تا ۳ مرتبه کندتر از پاسخ الکتروفیزیولوژیکی است. برای مثال، نوسانات باند تتا (۴–۸ هرتز) در چندین عملکرد شناختی ازجمله حافظه و کنترل شناختی دخیل است. عصب‌شناسان معمولاً تتا را به‌عنوان یک ریتم نسبتاً کُند مغزی در نظر می‌گیرند، اما برای تجربهٔ آگاهانهٔ ما از جهان، تتا کاملاً سریع است.

دلیل دوم این است که الکترونسفالوگرافی مستقیماً فعالیت عصبی را اندازه‌گیری می‌کند. نوسانات ولتاژی که توسط EEG اندازه‌گیری می‌شود، بازتاب مستقیم فعالیت‌های نورونی است (Cohen, 2014: 14). این ویژگی به‌عنوان مزیتی نسبت به معیارهای عملکردی مبتنی‌بر MRI، مانند BOLD، در نظر گرفته می‌شود که مستقیماً رویدادهای عصبی را اندازه‌گیری نمی‌کند و بین آنچه اندازه‌گیری می‌کند (فعالیت همودینامیکی) و آنچه می‌توان در مورد نوع دینامیک‌های عصبی استنباط کرد که پاسخ همودینامیکی را تولید یا با آن همبسته است، رابطهٔ پیچیده‌تری دارد (Cohen, 2014: 14).

دلیل سوم مفید بودن EEG این است که سیگنال EEG چندبعدی است. در واقع داده‌های EEG حداقل شامل چهار بعد است: زمان، مکان، فرکانس و توان (قدرت فعالیت مختص به یک باند فرکانسی خاص) و فاز (زمان‌بندی فعالیت: توان و فاز عناصر جداگانه‌ای از یک بعد هستند، زیرا اطلاعات مستقلی ارائه می‌دهند). این چندبعدی بودن، امکانات زیادی برای تعریف و آزمودن فرضیه‌هایی که ریشه در نوروفیزیولوژی و روان‌شناسی دارند، فراهم می‌کند (Cohen, 2014: 16).

علاوه بر مزایای این روش باید توجه داشت که EEG برای مطالعاتی که در آن‌ها تعیین دقیق محل عملکردی اهمیت دارد و همچنین برای آزمون فرضیه‌هایی که دربارهٔ ساختارهای عمقی مغز هستند، چندان مناسب نیست (اگرچه در برخی موارد می‌توان فعالیت ساختارهای عمقی مغز را با EEG اندازه‌گیری کرد). همچنین EEG برای آزمون‌هایی که به فرایندهای شناختی کُند و دارای زمان‌بندی نامشخص و متغیر می‌پردازد (مثلاً شکل‌گیری فرضیه در مغز) مناسب نیست. در این مورد، دقت زمانی بسیار بالای EEG یک ضعف محسوب می‌شود (Cohen, 2014: 17-18).

ویژگی‌های فنی روش الکترونسفالوگرافی

دستگاه EEG الگوهای امواج مغزی را ردیابی و ثبت می‌کند. پس از قرارگیری سنسورها روی پوست سر، هنگامی که سلول‌های مغزی (نورون‌ها) فعال می‌شوند، جریان‌های محلی تولید می‌شود. EEG بیشتر جریان‌هایی را که در طول تحریکات سیناپسی دندریت‌های نورون‌های هرمی در قشر مغز جریان می‌یابد، اندازه‌گیری می‌کند. تفاوت در جریان الکتریکی پتانسیل‌ها توسط جمع پتانسیل‌های درجه‌بندی‌شدهٔ پس‌سیناپسی از سلول‌های هرمی ایجاد می‌شوند که دوقطبی‌های الکتریکی بین نورون‌ها و دندریت‌ها ایجاد می‌کنند.

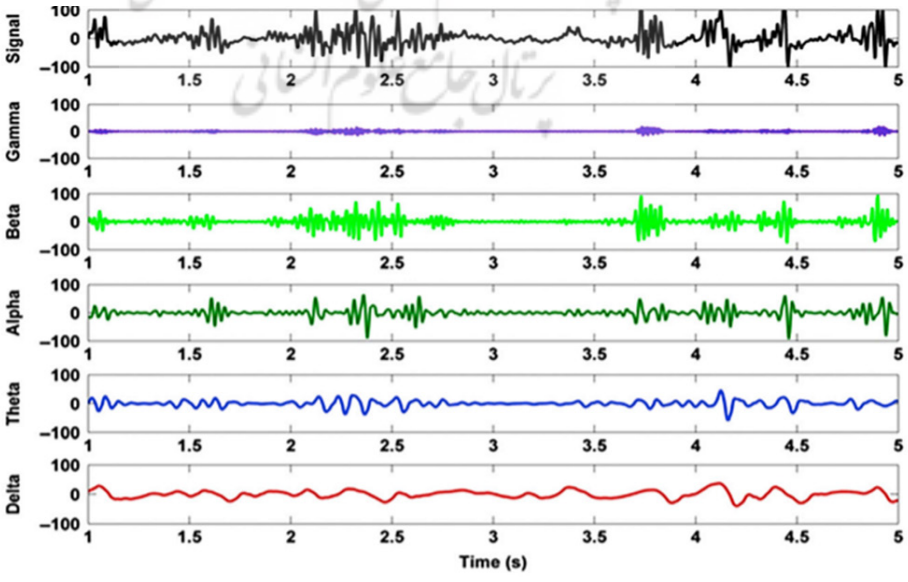


Figure 1.1 EEG signal and corresponding bands.

شکل ۴. سیگنال‌های EEG و باندهای مرتبط

جریان الکتریکی مغز عمدتاً از یون‌های Na+، K+، Ca++ و Cl− تشکیل شده است که ازطریق کانال‌هایی در غشای نورون در جهتی که توسط پتانسیل غشا کنترل می‌شود، پمپ می‌شوند. در مقیاس میکروسکوپی این فرایند شامل انواع مختلفی از سیناپس‌هاست که شامل انواع انتقال‌دهنده‌های عصبی است. سیگنال‌های الکتریکی ضعیفی که توسط پوست سر شناسایی می‌شوند، با الکترودها به‌شدت تقویت می‌شوند و سپس در حافظهٔ کامپیوتر ذخیره می‌گردند (Sanei & Chamber, 2013: 7). سیگنال‌های EEG پویا و غیرثابت هستند و یک راه برای تجزیه‌وتحلیل این سیگنال‌ها گروه‌بندی در چند ریتم و باند براساس فرکانس و قدرت آن‌هاست: آلفا (۸–۱۳ هرتز)، بتا (۱۳–۳۰ هرتز)، گاما (۳۰+ Hz)، دلتا (۰–۴ هرتز)، تتا (۴–۸ هرتز). افزایش قدرت در هریک از این باندها معمولاً با حالت‌های مختلف مغزی متفاوت است. فعالیت‌های آلفا زمانی که چشم‌ها بسته می‌شوند یا در زمان آرامش، بتا با هشدار یا نیازهای ادراکی افزایش می‌یابد، دلتا با خواب عمیق ارتباط دارد و تتا با خواب‌آلودگی. به‌علاوه نوسانات تتا همچنین با عملکردهای جهت‌یابی مرتبط است (Mavros et al, 2016: 193-194). برای مثال می‌توان تطبیق شدت عملکرد شناختی مرتبط با فعالیت امواج بتای مغز در یک محیط شهری را ازطریق تکنیک EEG و بررسی تجربهٔ انسانی در محیط شبیه‌سازی‌شدهٔ شهری بررسی کرد (Karandinou & Louise, 2018: 2 ; Mavros et al, 2012: 648).

هر محقق باید با توجه به مسئله مورد بررسی و منابع موجود، پارامترهای مختلف مرتبط را بررسی کند تا آزمایش EEG به‌خوبی طراحی شود. تولیدکنندگان مختلف دستگاه‌های EEG گوناگونی را ازنظر چگالی الکترود (از چگالی کم تا چگالی بالا)، الکترودهای خشک و الکترودهای مبتنی‌بر ژل، آمپلی‌فایرهای سیم‌دار و بی‌سیم، همراه با نرم‌افزارهای جمع‌آوری داده با ویژگی‌های متفاوت ازجمله ضبط داده‌ها ارائه می‌دهند. مجموعه‌ای از دستگاه‌های EEG قابل حمل، تولیدشده توسط شرکت‌های مختلف به‌همراه مشخصات فنی در ادامه در قالب یک جدول جمع‌آوری شده است.

جدول ۱. جزئیات دستگاه‌های EEG و تولیدکنندگان

دستگاه	شرح
EGI EEG	شرکت Electrical Geodesics Inc، (EGI) فناوری EEG برای تحقیقات علوم اعصاب ارائه می‌دهد که شامل شبکهٔ حسگرهای Geodesic Sensor Net با ۳۲، ۶۴، ۱۲۸ و ۲۵۶ حسگر است. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها به نام Net Station برای تحلیل داده‌های خام EEG و استخراج سیگنال‌های ERP استفاده می‌شود.
BrainMaster EEG	شرکت BrainMaster Technologies Inc، دستگاه EEG ۲۴کاناله و آمپلی‌فایر DC به نام ۲۴E Discovery توسعه داده است. این سیستم یک سیستم qEEG و EEG بیوفیدبک با کیفیت بالا و هزینهٔ کم است که شامل آمپلی‌فایرهای حساس به نویز کم، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال ۲۴بیتی و رابط USB ایزولهٔ نوری و مغناطیسی است. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌های سازگار برای این دستگاه Discovery نام دارد.
MITSAR EEG	شرکت MITSAR Co. Ltd سیستم‌های EEG شامل ۲۱، ۲۴، ۳۱ و ۴۸ کانال توسعه داده است. این سیستم‌ها دارای نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز و تبدیل AD ۱۶ تا ۲۴ بیت هستند. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها شامل EEGStudio و WinEEG است که برای فیلترینگ، مونتاژها، تحلیل موجلت، تحلیل طیفی و تحلیل سیگنال ERP به کار می‌روند.
Enobio EEG	شرکت Neuroelectrics سیستم‌های EEG بی‌سیم با چندین کانال به نام‌های Enobio ۸، Enobio ۲۰ و Enobio ۳۲کاناله ارائه می‌دهد. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها به نام Neuroelectrics Instrument Controller (NIC) برای سیستم‌های EEG Enobio و دستگاه‌های Starstim استفاده می‌شود و می‌تواند روی سیستم‌های Mac و Windows اجرا شود.
Emotiv EEG	شرکت Emotiv سیستم EEG بی‌سیم ۱۴کاناله EPOC را برای رابط کاربری کنترل مغز و داده‌های EEG توسعه داده است. این سیستم شامل ۱۴ حسگر EEG و ۲ مرجع است و با استفاده از باتری قابل شارژ به مدت ۱۲ ساعت کار می‌کند. نرم‌افزار EPOC Control Panel برای ذخیرهٔ داده‌ها و کنترل دستگاه‌های BCI به کار می‌رود.
Cadwell Arc EEG	شرکت Cadwell Industries Inc.، سیستم EEG به نام Arc Essentia ارائه می‌دهد که یک آمپلی‌فایر ۳۲کاناله با ۷ جفت مرجع فعال و نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰–۵۰۰ هرتز است. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها قادر به ضبط ویدئو، کنترل جمع‌آوری داده‌ها، تشخیص پیک‌ها و خودکارسازی فرایندهاست.
EGOSPORT EEG	شرکت ANT-Neuro آمپلی‌فایر ۶۴کاناله eego sports را طراحی کرده است که می‌تواند داده‌های EEG با چگالی بالا، سیگنال‌های EMG دوقطبی و داده‌های فیزیولوژیکی متنوع را جمع‌آوری کند. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها eego software است که رابط کاربری ساده‌ای دارد و شامل فیلترینگ پایه، تصحیح آرتیفکت‌ها و تحلیل پیشرفتهٔ سیگنال‌هاست.

ادامه جدول ۱. جزئیات دستگاه‌های EEG و تولیدکنندگان

BioSemi EEG	شرکت BioSemi سیستم EEG Active Two System را با ۲۸۰ کانال فعال و آمپلی‌فایر DC و دقت ۲۴بیتی ارائه می‌دهد. این سیستم دارای نرخ نمونه‌برداری از ۲ تا ۱۶ کیلوهرتز/ کانال است. نرم‌افزار جمع‌آوری داده‌ها براساس زبان برنامه‌نویسی LabView است و می‌تواند داده‌ها را در فرمت BDF ذخیره سازد و با نرم‌افزارهای EEG معروف مانند BESA و Neuroguide ارتباط برقرار کند.
NeuroScan EEG	شرکت NeuroScan سیستم‌های مختلفی ازجمله SynAmps RT، Grael، Siesta و NuAmps را ارائه می‌دهد. نرم‌افزار Curry Suite ۷ برای جمع‌آوری داده‌ها و پردازش آنلاین سیگنال‌های EEG/ERP و تحلیل منابع پایه استفاده می‌شود. این سیستم‌ها قادر به انجام تحلیل‌های ERP و EEG در کانال‌های مختلف هستند.
BIOPAC EEG	شرکت BIOPAC Systems Inc. ، سیستم EEG بی‌سیم ۳۲کاناله Mobile را با دقت ۲۴ بیت و دامنهٔ بی‌سیم ۱۰ متر ارائه می‌دهد. این سیستم برای ضبط داده‌ها از الکترودهای آب استفاده می‌کند و دارای نرم‌افزار AcqKnowledge است که قابلیت تنظیم مونتاژها و ترکیب سیگنال‌ها را دارد. همچنین، این سیستم برای هماهنگ‌سازی EEG با پاسخ‌های شرکت‌کنندگان از کانال تحریک استفاده می‌کند.

به‌طورکلی در مطالعات شهری، دستگاه‌های EEG قابل حمل قابلیت آزمایش در فضای واقعی را فراهم می‌آورند؛ اما این دستگاه‌ها که به‌صورت بی‌سیم طراحی شده‌اند، معمولاً چگالی الکترود پایینی دارند. سایر دستگاه‌ها، به‌دلیل محدودیت‌های تکنیکی در فضای آزمایشگاهی و در محیط واقعیت مجازی در قالب مطالعات شبه‌آزمون کاربرد دارند. پژوهشگران حوزهٔ شهری با توجه به موضوع پژوهش خود می‌بایست دستگاه مناسب را انتخاب کنند. یکی از مهم‌ترین موارد در انتخاب دستگاه تعداد الکترود مورد نیاز است. EEG با چگالی پایین (مانند ۸ الکترود، ۱۶ الکترود، یا ۲۴ الکترود) یا از EEG با چگالی بالا (مانند ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶ و ۵۱۲ الکترود) بسته به اهداف آزمایش، نوع وظیفه‌ای که باید انجام شود و ماهیت فرایند شناختی که باید مورد بررسی قرار گیرد، انتخاب می‌شود. مزایا و معایبی که برای استفاده از هریک از این دو نوع سیستم وجود دارد، شامل موارد زیر است:

- سیستم EEG با چگالی بالا، دقت فضایی زیادی دارد، اما زمان بیشتری برای راه‌اندازی نیاز دارد.
- الکترودهای چگالی بالا می‌توانند امکان ثبت آرتیفاکت‌های بیولوژیکی (حرکت چشم، پلک زدن) و غیربیولوژیکی (تداخل الکترومغناطیسی) را ایجاد کنند.
- در سیستم‌های EEG با چگالی بالا، فاصلهٔ بین الکترودها کوچک‌تر است که این امر برای منابع سیگنال محلی‌سازی‌شده توصیه می‌شود.
- سیستم‌های EEG با چگالی بالا هم‌زمان دارای دقت فضایی و زمانی بسیاری هستند. به این معنا که داده‌های بیشتری ضبط می‌شود که طبیعتاً به حافظهٔ ذخیره‌سازی بزرگ‌تر، پردازش سریع‌تر و چیپ‌های حافظهٔ کارآمدتر نیاز دارد و به دنبال آن هزینهٔ بیشتری نسبت به سیستم‌های EEG با چگالی پایین خواهد داشت.
- در مقابل سیستم‌های EEG با چگالی پایین سریع‌تر راه‌اندازی می‌شوند و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری محدودتر و هزینهٔ کمتری نیاز دارند.

مورد دیگر نرخ نمونه‌برداری است. نرخ نمونه‌برداری تعداد مقادیر کمی است که در هر کانال در هر ثانیه ضبط می‌شود؛ مثلاً ۱۲۸ نمونه در هر ثانیه. هرچه نرخ نمونه‌برداری بالاتر باشد، دقت زمانی ضبط EEG بیشتر خواهد بود. نرخ نمونه‌برداری بالا نیازمند حافظهٔ ذخیره‌سازی بزرگ، حافظهٔ سیستم و پردازشگر CPU بیشتری است. نرخ نمونه‌برداری بالا برای ضبط EEG کوتاه‌مدت مناسب است (Malik& Amin, 2017: 25-28).

اهمیت طراحی صحیح آزمایش

برای آزمایش یک فرضیه، محقق یا آزمایشگر آزمایشی را طراحی می‌کند. در آزمایش‌ها، ابتدا یک جنبه از مشکل تحقیقاتی دستکاری می‌شود و سپس نتیجهٔ آن دستکاری اندازه‌گیری می‌شود. در تحقیقات EEG، منابع درخور توجهی ازنظر هزینهٔ تجهیزات، زمان و منابع انسانی مورد نیاز است. معمولاً فرایند تنظیم EEG ۲۰ تا ۳۰ دقیقه طول می‌کشد. جلسات جمع‌آوری داده‌ها بسته به تعداد آزمایش‌ها یا شرایط متفاوت است. آزمایش‌های EEG معمولی گاه تا ۲۰ شرکت‌کننده در هر شرایط یا گروه مورد نظر دارند. تعداد شرکت‌کنندگان بسته به اندازهٔ اثر قابل آزمایش و تعداد آزمایش‌هایی که باید از هر شرکت‌کننده جمع‌آوری شود، متفاوت است. علاوه بر این، EEG خام نیازمند تلاش‌های انسانی برای پاک‌سازی نویزهای ناخواسته موجود

در سیگنال است. بنابراین، طراحی آزمایش نادرست EEG می‌تواند مشکلات زیادی برای محققان ایجاد کند، زیرا ممکن است نتواند فرضیهٔ تعریف‌شده را پاسخ دهد یا نتایجی ارائه دهد که تفسیر آن‌ها دشوار باشد و به نتیجه‌گیری منجر نشود (Malik& Amin, 2017: 4-6).

ویژگی‌های یک آزمایش به‌خوبی طراحی‌شده به شرح زیر است:

- ساده‌ترین حالت ممکن برای آزمایشگر و آسان برای بازتولید توسط محققان آینده؛
- طراحی آزمایش برای آزمون فرضیه‌ای خاص و ارائهٔ تخمین‌های منصفانه از اثرات عوامل؛
- حداقل هزینه برای اجرای آزمایش و قابلیت شناسایی تفاوت‌های معنادار توسط آزمایشگر؛
- برنامه‌ریزی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و تفسیر نتایج؛
- امکان نتیجه‌گیری‌های معتبر(Malik& Amin, 2017: 4-6) .

در یک آزمایش EEG مرتبط با رویداد، باید تعداد کافی از آزمایش‌ها انجام شود تا پس از رد آرتیفکت‌ها، سیگنال‌های میانگین به دست آید. طراحی آزمایش باید مطابق با دستورالعمل‌های اخلاقی باشد تا حریم خصوصی شرکت‌کنندگان، رضایت‌نامهٔ آن‌ها، مدت‌زمان آزمایش، ارائهٔ دستورالعمل‌ها به شرکت‌کنندگان، خطرات احتمالی و مداخلاتی که تغییرات پیش‌بینی‌شده در مغز را ایجاد می‌کنند، رعایت شود. درصورتی‌که یک شرکت‌کننده در حین ضبط احساس راحتی نکند، ممکن است دچار اختلال شود و درگیر حرکات غیرمرتبط، پلک زدن، خاراندن، خواب‌آلودگی یا از دست دادن تمرکز گردد (Malik& Amin, 2017: 28). این امر دقت نتایج را زیر سؤال خواهد برد.

آماده‌سازی شرکت‌کننده

شرکت‌کننده باید از برنامهٔ زمانی آزمایش آگاه شود و پژوهشگر باید آزمایش را با توجه به سهولت دسترسی شرکت‌کنندگان انجام دهد. اگر دستگاه EEG مورد استفاده در ضبط نیازمند این باشد که شرکت‌کننده موهای خود را شامپو کند یا از استفاده از ژل یا لوسیون خودداری نماید، پژوهشگر باید مطمئن شود که شرکت‌کننده طبق این شرایط قبل از آزمایش آماده شده است (مانند خواب کافی، پرهیز از نوشیدنی‌هایی مانند قهوه و الکل، فعالیت شدید بدنی). قبل از آغاز آزمایش، شرکت‌کننده باید به‌طور کامل دربارهٔ وظایف آزمایشی و روند انجام آزمایش راهنمایی شود تا از حرکات غیرمرتبط، پلک زدن/ حرکات چشم و خاراندن در حین ضبط جلوگیری شود (Malik& Amin, 2017: 28). وجود این عوامل مزاحم سبب افزایش آرتیفکت‌ها (سیگنال‌هایی با منشأ متفاوت از فعالیت مغز) می‌شود، تحلیل نتایج را دشوار می‌کند و دقت نتایج را کاهش می‌دهد.

سایر ابزارهای همراه متداول در پژوهش‌های الکتروفیزیولوژی شناختی

پرسش‌نامه‌های روان‌سنجی

این پرسش‌نامه‌ها روشی اولیه برای درک واکنش مردم نسبت به فضا هستند. می‌توان ادراکات و احساسات را از آن‌ها استخراج کرد و آن‌ها را به‌آسانی تحلیل نمود. در همراهی با تست‌های عصبی/ بیولوژیکی کارآمدتر هستند و در مطالعهٔ همبستگی واکنش‌های ذهنی افراد به داده‌های عینی کارایی دارند.

تست‌های شناختی

برای ارزیابی قابلیت‌های شناختی مانند توجه و حافظه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در قالب آزمایش‌های استانداردشده‌ای که معمولاً نیاز به صدور مجوز دارند، انجام می‌شوند.

کاربردهای عصب روان‌شناسی در تحلیل ادراک پیچیدگی

در ارتباط با پیچیدگی کالبدی، پژوهش‌های عصب‌شناسی موفق به شناسایی موقعیت نورون‌ها و فرایندهای عصبی مغز شده‌اند که ادراک پیچیدگی را ممکن می‌سازد. این پژوهش‌ها با عنوان «نظریهٔ مدارهای عصبی»[۷] ارائه شده است و نشان‌دهندهٔ یک سیستم سلسله‌مراتبی عصبی در مغز است. هرچه شکل ساده‌تر، محتمل‌تر و کمتر متمایز باشد، در مرتبهٔ بالاتری از سلسله‌مراتب ادراکی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. اشکال پیچیده‌تر و کمتر محتمل، نیازمند تشخیص هم‌زمان در چندین سطح سلسله‌مراتب یادگیری ادراکی (سیستم تصویری) هستند (Donderi, 2006: 89). براساس نظریهٔ مدارهای عصبی در ادراک بصری اگر الگوی شلیک نورون‌های بازخوردی به سطح اول، مطابق با فعالیت سلول‌های پیرامونی (که تحت‌تأثیر تجربهٔ قبلی

هستند) باشد، در نتیجه فعالیت در مدار تقویت و نگهداری می‌شود تا زمانی که ادامه یابد. اگر فعالیت بازخورد با فعالیت سطح ورودی مطابقت نداشته باشد، مکانیسم «توجه»[۸] یک ورودی «تنظیم مجدد»[۹] برای اتصالات سیناپسی نورون‌های سطح بالاتر در مدار فراهم می‌کند و این امکان را می‌دهد که بارهای سیناپسی مجدداً محاسبه شوند. مجموعهٔ جدید بار بازخوردهای متفاوتی ایجاد می‌کند و هنگامی که بازخورد در نهایت با ورودی مطابقت پیدا کرد، مدار تثبیت می‌شود. بنابرین پیچیدگی هر ورودی بصری به‌عنوان تابعی از ادراکی که تولید می‌کند، تغییر خواهد کرد (Donderi, 2006: 91). این فرایند نقش توجه در ادراک بصری را به‌عنوان عاملی تنظیم‌کننده در سلسله‌مراتب ادراکی نشان می‌دهد. ابهام‌زدایی از ورودی حسی ازطریق توجه هدایت می‌شود (Donderi, 2006: 93). بنابرین پیچیدگی محرک اولیه به‌عنوان تابعی از یادگیری مبتنی‌بر ادراک[۱۰] تغییر می‌کند.

تمام پژوهش‌های صورت‌گرفته تاکنون، نشان می‌دهد که پیچیدگی هر ورودی بصری به‌عنوان تابعی از ادراکی که تولید می‌کند، تغییر خواهد کرد. سیستم تصویری معمولاً می‌تواند یک محرک ابتدایی[۱۱] (نزدیک به محرک‌های آشنا) را در جمع ادراک‌های ساده‌تر (اشکال خوب یا «ایدئال‌ها») حل کند و تغییر روابط در فضا و زمان به‌عنوان تغییرات مکانی و زمانی محرک محاسبه می‌شود (Donderi, 2006: 91). ابهام‌زدایی از ورودی حسی ازطریق توجه هدایت می‌شود. تمرکز بیش از حد بر قانع‌کننده‌ترین فرضیهٔ موجود در زمان حال می‌تواند منجر به غفلت از سایر ورودی‌ها شود: «دید تونلی» در مواقع اضطراری این امر را تأیید می‌کند (Donderi, 2006: 93). بنابرین پیچیدگی محرک اولیه به‌عنوان تابعی از یادگیری مبتنی‌بر ادراک[۱۲] تغییر می‌کند و این می‌تواند ازطریق تغییر در احتمال پیش‌فرض‌ها توضیح داده شود. ازآنجاکه این فرضیه‌ها ازطریق تجربه تکمیل می‌شوند، ازلحاظ ادراکی ساده و تقویت می‌گردند. در نتیجه محتمل‌تر می‌شوند و در نتیجه کدهای کوتاه‌تری دارند که منجر به پیچیدگی کمتری می‌شود (Donderi, 2006: 94). بنابرین ادراک یک فرد از پیچیدگی ازطریق آشنایی با محیط کاهش می‌یابد.

EEG سیار تاکنون در حوزه‌های گوناگون ادراک فضایی، معماری، طراحی شهری، برنامه‌ریزی و روان‌شناسی محیطی (Mavros et al, 2016: 192-199) استفاده شده و کاربردهای آن همچنان رو به گسترش است. جمع‌بندی مطالعات انجام‌شده در خصوص ادراک پیچیدگی با کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی در جدول ۲ به‌صورت اجمالی ارائه شده است.

جدول ۲. کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی در ادراک پیچیدگی

ردیف	نام اثر	سال انتشار	نویسنده/نویسندگان
۱	درک ویژگی‌های هم‌افزا در محرک‌های بینایی[۱۳]	۱۹۷۹	کاچینک و برلاین
	وحدت و تنوع	وحدت در آثار هنری را می‌توان در ۵۰ میلی‌ثانیه شناسایی کرد، درحالی‌که تنوع آهسته‌تر قابل درک است (۵۰۰-۵۰۰۰ ms).	
۲	پیچیدگی محرک‌های بینایی و پویایی EEG غیرخطی در انسان[۱۴]	۲۰۰۳	مولر و همکاران
	پیچیدگی بصری	رابطهٔ مثبت بین پیچیدگی و قدرت بتا در کل قشر مغز در تک‌آونگ و به میزانی بیشتر در ارتباط با آونگ دوگانه و همچنین یک رابطهٔ مثبت بین پیچیدگی و قدرت آلفا فقط در آونگ دوگانه، به‌ویژه در مناطقی از مغز که مسئول فرایندهای توجه پایدار هستند.	
۳	بعد فراکتال سیلوئت منظر به‌عنوان شاخص پیش‌بینی ترجیح منظر[۱۵]	۲۰۰۴	هاگرهال و همکاران
	پیچیدگی بصری، بعد فراکتال	مطالعهٔ اول: بین ترجیح و بعد فراکتال ارتباط وجود دارد و مقادیر میانه‌ای از D در محدودهٔ ۱٫۳-۱٫۵، از بیشترین میزان ترجیح بصری برخوردارند.	

ادامه جدول ۲. کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی در ادراک پیچیدگی

	بررسی واکنش امواج[۱۶] EEG انسان هنگام مشاهدهٔ الگوهای فراکتال	۲۰۰۸	هاگرهال و همکاران	
۴	پیچیدگی بصری، بعد فراکتال			مطالعهٔ دوم: حتی با استفاده از تصاویر سیلوئت ساختمانی ساده، با ابعاد فراکتال مختلف، اثرات درخور توجهی را در سیگنال‌های EEG می‌توان یافت. الگوهای با ابعاد فراکتالی ۱٫۳، جالب‌ترین EEG را نشان می‌دهند که شامل بالاترین امواج آلفا در لوب‌های فرونتال، بالاترین میزان امواج بتا در لوب آهیانه‌ای است و تعامل پیچیده‌ای نیز بین قسمت‌های مختلف مغز هنگام تجربهٔ این الگو مشاهده می‌شود. ارتباط با یک شبکهٔ مرتبط با توجه به ناحیهٔ لوب پیشانی، جایی که مناطق پیشانی و جداری باهم در کنترل توجه و انتخاب پاسخ همکاری می‌کنند. محرک‌های فراکتال واجد بعد ۱٫۳ حداکثر پاسخ آلفا را در ناحیهٔ پیشانی و بالاترین پاسخ بتا در منطقهٔ جداری را ایجاد می‌کنند. فراکتال‌ها با بعد میانی، فعال‌ترین و در نتیجه احتمالا کارآمدترین حالت برای جلب‌توجه‌اند.
۵	زیبایی وحدت در تنوع: مطالعاتی دربارهٔ ارزیابی چند حسی زیبایی در طراحی محصولات[۱۷]	۲۰۱۶	پست	
	وحدت در تنوع، روانی پردازش			معرفی «مفهوم روانی پردازش» به‌عنوان عاملی برای ادراک زیبایی‌شناسی. طرح‌های یکپارچه‌تر و کم‌تنوع‌تر، سریع‌تر و روان‌تر پردازش شوند. بنابرین می‌توان از روش EEG برای ایجاد ارتباط میان تجربیات وحدت و تنوع، با سرعت پردازش عصبی استفاده کرد.
۶	یک روش اندازه‌گیری برای عدم تطابق بین عناصر هدف با عناصر نمایان تصویر به‌عنوان معیاری برای پیچیدگی تصویر[۱۸]	۲۰۱۵	هو و همکاران	
	پیچیدگی بصری، توجه، حافظهٔ فعال بصری			پژوهش نخست: ارائهٔ الگوریتم جدید برای اندازه‌گیری عدم تطابق بین عناصر هدف با عناصر نمایان واقعی تصویر. نمایانی تصویر و اولویت توجه می‌تواند ظرفیت حافظهٔ فعال بصری را در جایی که اطلاعات تصویر ذخیره می‌شود، تعیین کند. بنابراین عدم تطابق بین نقاط کانونی تصویر و نقاط جالب توجه یک تصویر می‌تواند بر حافظهٔ کاری بصری اثرگذار باشد. این پیچیدگی بصری منجر به عدم تطابق در شرایط جدی حتی می‌تواند باعث تصادف رانندگی شود. پژوهش دوم: سازگاری مقدار پیچیدگی تصویر محاسبه‌شده توسط این الگوریتم‌ها با حس بصری انسان از پیچیدگی و در مقایسهٔ تصاویر با اندازه و محتوای قابل خاطرسپاری در حافظه نیز کارایی دارد. اثبات رابطهٔ بین پیچیدگی تصویر، توجه بصری و ظرفیت حافظهٔ فعال بصری: افزایش پیچیدگی تصویر به‌دلیل محدود بودن ظرفیت حافظهٔ کاری (اغلب با حافظهٔ کوتاه‌مدت یکسان فرض می‌شود)، توانایی تمرکز روی اطلاعات مهم بصری را کاهش می‌دهد. هنگام ارزیابی عملکرد حافظهٔ کاری، حرکات چشم نقش مهمی دارند. برتری در جلب‌توجه یا الگوی نمایانی نقش مهمی در توانایی ما برای برشمردن و به خاطر سپردن گروه‌های کوچکی از محرک‌ها دارد. بین کارایی حافظه و پیچیدگی بصری رابطهٔ مستقیم وجود دارد. قدرت امواج EEG ارتباط نزدیکی با تغییر فعالیت مغزی در ارتباط با حافظهٔ فعال بصری دارد. در این مقاله مقدار قدرت امواج EEG به‌عنوان نمایانگر وضعیت فعالیت مغز در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که پیچیدگی بصری زیاد است، برای توجه صحیح بصری فعالیت مغز افزایش می‌یابد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ادامه جدول ۲. کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی در ادراک پیچیدگی

۷	ارزیابی الکتروفیزیولوژیکی پیچیدگی درک‌شده در منظر خیابان[۱۹]	۲۰۱۵	کاچا و همکاران	
	پیچیدگی بصری، بعد فراکتال	نتایج درخور توجه باندهای فرکانسی به‌ترتیب در باندهای قدرت آلفا و بتا در الکترودهای پس‌سری و فرونتال؛ رابطهٔ مثبت آمار کنتراست RMS و همچنین مقادیر بعد فراکتال با قدرت باند بتا مرتبط با برانگیختگی و توجه؛ همبستگی مثبت میزان ادراک پیچیدگی و ابعاد فراکتال با قدرت باند بتا در لوب فرونتال.		
۸	پیش‌بینی نمایانی بصری در مشاهدهٔ آزاد توسط Presaccadic EEG[۲۰]	۲۰۱۸	ون هامبیک	
	نمایانی	هنگامی که میزان نمایانی در محل خیرگی بالا باشد، دامنهٔ فعالیت EEG کاهش می‌یابد، زیرا تلاش برای توجه، جهت انتخاب اهداف نمایان کمتر از سایر اهداف است.		

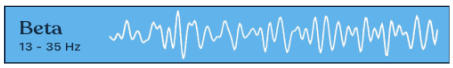
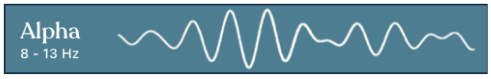
با توجه به نتایج این پژوهش‌ها، در سطح عصبی، مدل‌های مغز این ایده را تأیید کرده‌اند که مغز برای ادغام بهینهٔ انواع مختلف اطلاعات برای ایجاد ادراکی یکپارچه از دنیای پیچیدهٔ پیرامون تکامل یافته است. با توجه به رابطهٔ بین وحدت و روانی پردازش، می‌توان از روش EEG برای ایجاد ارتباط میان تجربیات وحدت و تنوع با سرعت پردازش عصبی استفاده کرد. انتظار می‌رود که افزایش وحدت، روانی پردازش[۲۱] را تسهیل کند و منجر به پاسخ سریع‌تر یا قوی‌تر در نواحی مربوط به پردازش اولیه و ایجاد تمایز میان محرک‌های بینایی در مغز شود. همچنین افزایش دامنهٔ فعالیت سیگنال‌های EEG می‌تواند نشان‌دهندهٔ پایین بودن میزان نمایانی عناصر، و کاهش آن‌ها نشان‌دهنده نمایانی عناصر باشد که ازطریق هماهنگ‌سازی سیگنال‌ها با داده‌های ردیابی چشم قابل تحلیل و ارزیابی است. از این طریق می‌توان به درک عمیق‌تر و بی‌واسطه‌ای از تأثیر پیچیدگی کالبدی بر خوانایی کالبد دست یافت.

براساس مطالعات پیچیدگی هر ورودی بصری به‌عنوان تابعی از ادراکی که تولید می‌کند، تغییر خواهد کرد. تحت‌تأثیر این پدیده میزان پیچیدگی ورودی‌های حسی در اثر مواجههٔ افراد به‌تدریج کاهش می‌یابد. بنابرین می‌بایست تأثیر مواجههٔ ادراکی در نتیجهٔ تست‌های طراحی‌شده مد نظر قرار گیرد. در میان روش‌های متداول ثبت امواج مغزی، روش الکتروانسفالوگرافی (EEG) به‌دلیل ارزان بودن و دسترسی آزاد، می‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل‌های عصب‌شناختی این پژوهش باشد. ضمناً با توجه به رابطهٔ بین وحدت و روانی پردازش، می‌توان از روش EEG برای ایجاد ارتباط میان تجربیات وحدت و تنوع با سرعت پردازش عصبی استفاده کرد. انتظار می‌رود که افزایش وحدت، روانی پردازش[۲۲] را تسهیل کند؛ همچنین ازطریق بررسی نوسانات فرکانس تتا، در محدودهٔ عرضی پیشانی – بالای پیشانی – می‌توان عملکرد حافظهٔ کاری، حافظهٔ اپیزودیک یا دشواری عملکرد جهت‌یابی را ارزیابی کرد. همچنین افزایش دامنهٔ فعالیت سیگنال‌های EEG می‌تواند نشان‌دهندهٔ پایین بودن میزان نمایانی عناصر و کاهش آن‌ها نشان‌دهنده نمایانی عناصر باشد.

درزمینهٔ مطالعهٔ فرایندهای ادراکی حرکت در فضای شهری، از EEG برای درک جنبه‌هایی از ادراک فضایی استفاده شده است. نوسانات فرکانس تتا، در محدودهٔ عرضی پیشانی – بالای پیشانی – منعکس‌کنندهٔ عملکرد حافظهٔ کاری، حافظهٔ اپیزودیک یا دشواری عملکرد جهت‌یابی است. فرایند مسیریابی عمیقاً به عملکرد حوزه‌های فعال مغز در هنگام انجام فرایند مسیریابی وابسته است. پژوهش‌ها به‌تازگی قادر به تعیین مناطقی از مغز شده‌اند که مسئول انواع رفتارهای مسیریابی هستند. فناوری fMRI به محققان اجازه می‌دهد دقیقاً محلی از مغز را که مسئول ذخیره‌سازی محرک‌های محیطی مسیریابی است، تعیین کنند. این منطقه به نام PPA[۲۳] شناخته می‌شود. منطقهٔ کوچکی از هیپوکمپ که مشخص‌شده است فقط به محرک‌های جهت‌یابی پاسخ می‌دهد، نه به اشیای عادی یا به فرم صورت. اپستین و واس[۲۴] نیز مسیرهای عصبی بین PPA، Retrosplenial Cortex و لوب Temporal-Medial را نشان داده‌اند که باهم برای رمزگذاری محرک‌های محیطی، پردازش حافظهٔ فضایی و تشخیص موقعیت مکانی در قالب نقشهٔ شناختی عملکرد داشته‌اند (Platosh, 2017: 32). در ادامه خلاصه‌ای از کاربردهای ثبت گرافیکی امواج مغزی در مطالعهٔ ادراک پیچیدگی، به تفکیک دامنهٔ امواج و ناحیهٔ مغزی فعال، در

قالب یک جدول ارائه شده است.

جدول ۳. کاربرد ثبت گرافیکی امواج مغزی در مطالعه تأثیر پیچیدگی بصری بر مانایی ذهنی کالبد

امواج مغزی	ویژگی‌ها	ناحیهٔ مغز	کاربرد در مطالعات پیچیدگی و مانایی ذهنی کالبد
	ادراک، یادگیری، حل مسئله	کل مغز	–
	هوش فعال، توجه و هوشیاری	لوب فرونتال، لوب جداری، لوب تمپورال	تحت‌تأثیر میزان پیچیدگی و فرم‌های فراکتال در لوب فرونتال
	آرامش، مدیتیشن و خلاقیت	لوب اکسیپیتال، لوب جداری، لوب تمپورال	تحت‌تأثیر میزان پیچیدگی و فرم‌های فراکتال لوب آهیانه‌ای
	خلاقیت، شهود و خیال‌پردازی	لوب فرونتال، لوب جداری، لوب تمپورال	در محدودهٔ عرضی پیشانی- بالای پیشانی -منعکس‌کنندهٔ عملکرد حافظهٔ کاری، حافظهٔ اپیزودیک یا دشواری عملکرد جهت‌یابی
	خواب عمیق	کل مغز	–

چالش‌ها و محدودیت‌ها

محدودیت‌های فنی

مهم‌ترین چالش در مسیر رویکرد نوروشهرسازی، پیچیدگی ادغام داده‌های مختلف عصبی، شناختی و فرم کالبدی است که نیازمند همکاری بین‌رشته‌ای میان متخصصان علوم اعصاب و پژوهشگران حوزهٔ شهری است (Adli, 2011:454). تفاوت دیدگاه متخصصان حوزه‌های متفاوت، رسیدن به اجماع در نتایج را دشوار می‌سازد. برای مثال تفاوت کنترل متغیرها در شرایط آزمایشگاهی مطالعاتی که در محیط شهری انجام می‌شود. این امر قابلیت تعمیم یافته‌های آزمایشگاهی با محیط‌های شهری بزرگ‌تر را به‌عنوان یکی از چالش‌های کلیدی در این مسیر مطرح می‌سازد (Frumkin et al., 2017: 8). چالش بعدی مربوط به ویژگی‌های فنی ابزارهای تصویربرداری عصبی است. اجرای روش‌های تصویربرداری عصبی مانند fMRI در محیط‌های شهری به‌دلیل شرایط کنترل‌شده‌ای که این فناوری‌ها نیاز دارند، بسیار پیچیده است. ابزارهای تصویربرداری عصبی سنتی معمولاً به محیط‌های آزمایشگاهی محدود می‌شوند که این امر قابلیت استفادهٔ آن‌ها را در زمینه‌های پویا و واقعی کاهش می‌دهد. این محدودیت، چالش‌های درخور توجهی برای محققان ایجاد می‌کند که قصد دارند پاسخ‌های عصبی به محرک‌های شهری در محیط واقعی را بررسی کنند(Tawil & Kühn, 2024: 175) . ابزارهای فعلی تصویربرداری عصبی اغلب در ثبت ماهیت پویا و سیال تجربیات عابران پیاده در محیط‌های شهری دچار مشکل هستند. ماهیت ایستا و محدود ابزارهای تصویربرداری عصبی سنتی نمی‌تواند پیچیدگی‌های جهت‌یابی و تعاملات با دنیای واقعی را منعکس کند که منجر به شکاف‌هایی در داده‌ها و فهم علمی می‌شود(Tawil & Kühn, 2024: 182) . برای مثال محدودیت‌های ناشی از ثبت امواج مغزی به روش EEG شامل محدودیت حرکت به‌دلیل بالا بردن نویزهای اضافی و مخدوش نمودن داده‌ها، منجر به تأثیرگذاری بر تغییر حرارت، نور، تأثیر سایر حواس به‌جز متغیرهای بصری شامل شنوایی و بویایی، تأثیر متغیرها، به حداقل رساندن حرکت ماهیچه‌ای خواهند شد. همچنین درزمینهٔ مطالعهٔ فرایندهای ادراکی حرکت در فضای شهری نیز هنوز نمی‌توان از EEG برای مطالعهٔ ساختارهای عمیق (Lobe Temporal Medial) استفاده کرد. یکی دیگر از دلایل دشواری تحقیقات در خصوص ادراک پیچیدگی کالبدی با رویکرد عصب‌شناسی، تعدد مؤلفه‌های محیطی متداخل در ادراک پیچیدگی است. این متغیرها شامل متغیرهای بصری کالبدی (بصری و ساختاری) و غیرکالبدی (نور، پوشش گیاهی، حضور افراد و...)، صمعی، بویایی و لامسه است که در محیط شهری همواره در حال تغییر و کنترل‌ناپذیرند.

تنوع زمینه‌ای

پاسخ‌های عصبی به محیط‌های شهری به‌شدت تحت‌تأثیر زمینه‌های فرهنگی، اجتماعی و محیطی قرار می‌گیرند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که زمینه‌های فرهنگی می‌توانند فعالیت‌های عصبی را شکل دهد و بر نحوهٔ ادراک و تعامل افراد با محیط اطرافشان تأثیر بگذارد. این تنوع، قابلیت تعمیم یافته‌ها را در میان جمعیت‌های متنوع پیچیده می‌کند و نیاز به رویکردهای حساس به فرهنگ در تحقیقات تصویربرداری عصبی را برجسته می‌سازد (Chiao & Ambady, 2010: 240). همچنین نگرانی‌هایی مبنی‌بر لزوم حفظ حریم خصوصی در جمع‌آوری داده‌های عصبی(Ellard, 2015: 45) در فضاهای عمومی وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

پس از بررسی انواع روش‌های تصویربرداری عصبی می‌توان به این جمع‌بندی رسید که روش الکتروانسفالوگرافی به‌دلیل وضوح زمانی و مکانی زیاد و هزینه‌های نسبی کمتر، گزینهٔ مناسب‌تری برای انجام آزمایش‌های تحلیل تأثیر پیچیدگی بصری در محیط شهری است. از این روش می‌توان برای ارزیابی میزان پیچیدگی بصری ذهنی به‌صورت بی‌واسطه استفاده کرد. همچنین تأثیرات جانبی همچون عملکرد حافظه می‌تواند به وسیلهٔ تحلیل امواج EEG سنجیده شود. اما به‌دلیل محدودیت‌های فنی این روش و همچنین ضرورت کنترل متغیرهای متداخل در رویکرد شبه‌آزمایشی و ماهیت چندگانهٔ ادراک پیچیدگی، انجام پژوهش در محیط واقعیت مجازی کنترل متغیرهایی چون آشنایی با محیط، تأثیر نور و سایر محرک‌های غیربصری تأثیرگذار بر پیچیدگی را امکان‌پذیر می‌سازد.

به‌ویژه کنترل متغیر آشنایی با محیط و طول زمان ادراک تنها در محیط واقعیت مجازی ممکن خواهد بود. این محیط امکان تحلیل و دستکاری سیستماتیک ویژگی‌های محیطی مرتبط با پیچیدگی کالبدی با هدف سنجش تأثیر آن مانایی ذهنی جدارهٔ خیابان امکان‌پذیر می‌سازد. با استفاده از عینک VR شناسایی فرایندهای عصب‌شناختی مؤثر در ادراک پیچیدگی توسط ثبت امواج مغزی با روش EEG نیز به‌طور هم‌زمان ممکن خواهد بود؛ زیرا ثبت امواج مغزی به‌منظور کاهش نویزهای احتمالی، باید در کنترل‌شده‌ترین وضعیت ممکن محیطی انجام شود. حرکت ماهیچه‌ها و امواج مغناطیسی ناشی از آن، امواج وسایل الکتریکی، تغییر نور و درجه‌حرارت و سایر متغیرهای حسی پیچیدگی شامل صدا، بو و... که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد، همگی دقت نتایج آزمایش را تحت‌تأثیر قرار خواهند داد:

- ضرورت اجرای آزمون‌ها در بستر واقعیت مجازی؛
- ضرورت کنترل متغیرها در رویکرد شبه‌آزمایشی: متغیرهای آشنایی با محیط، نور و سایر محرک‌های غیربصری تأثیرگذار بر پیچیدگی به‌ویژه آشنایی با محیط؛
- امکان دستکاری سیستماتیک ویژگی‌های محیطی مرتبط با پیچیدگی کالبدی؛
- امکان ثبت هم‌زمان امواج مغزی با روش EEG به‌دلیل کاهش نویزهای احتمالی محیط شهری: تغییر نور و درجه‌حرارت و سایر متغیرهای حسی پیچیدگی شامل صدا، بو و حرکت ماهیچه‌ها و امواج مغناطیسی ناشی از آن، امواج وسایل الکتریکی؛
- امکان استفاده از ردیاب چشمی می‌تواند امکان بررسی فرایندهای توجه و خیرگی و تأثیر مستقیم داده‌های بصری بر فرایندهای عصبی.

در نهایت اجرای آزمایش‌های الکتروفیزیولوژی شناختی در ارتباط با محیط شهری باید با احتیاط صورت گیرد. دقت نظر در انتخاب دستگاه مورد بهره‌برداری و توجه به محدودیت‌های فنی و زمینه‌ای موجود علاوه بر افزایش دقت و تعمیم‌پذیری نتایج، هزینه‌های نهایی را کاهش خواهد داد. همچنین تخصصی بودن این فرایند، همکاری نزدیک با متخصصان عصب‌شناسی و روان‌شناسی شناختی را ضروری می‌نماید. حوزهٔ نوظهور نوروشهرسازی، به‌دلیل محدودیت‌ها و متغیرهای بیشتر مطالعهٔ فضای شهری با تأخیر بیشتری نسبت به مطالعات معماری آغاز شده است، اما به‌سرعت در حال گسترش است و با پیشرفت‌های فنی آتی با محدویت‌های کمتر و دقت بیشتر زاویه‌دید جدیدی را به مسائل بعضاً قدیمی در حوزهٔ طراحی شهری خواهد گشود.

بیانیه‌ها

تعارض منافع
نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافعی مرتبط با این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت مالی
این پژوهش از هیچ منبع مالی اعطایی سازمان‌های دولتی یا خصوصی برای پیشبرد تحقیق استفاده نکرده است.

رضایت آگاهانه
تمام شرکت‌کنندگان در این پژوهش رضایت آگاهانه خود را به‌صورت کتبی اعلام کرده‌اند.

مشارکت نویسندگان
ایده‌پردازی و طراحی مطالعه: دکتر امیر شکیبامنش، نرگس احمدپور؛ گردآوری و مدیریت داده‌ها: نرگس احمدپور؛ تحلیل و تفسیر داده‌ها: دکتر امیر شکیبامنش، نرگس احمدپور؛ تصویرسازی: نرگس احمدپور؛ نگارش پیش‌نویس اولیه: نرگس احمدپور؛ بازبینی و اصلاح مقاله: دکتر امیرشکیبامنش، نرگس احمدپور؛ مدیریت پروژه تحقیقاتی: دکتر امیرشکیبامنش؛ اعتبار سنجی و تأیید نهایی: تمام نویسندگان نسخه نهایی مقاله را تأیید کرده‌اند.

تشکر و قدردانی
موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است

پی‌نوشت

1.Techniques Hemodynamic
2.Functional magnetic resonance imaging
3.Positron emission tomography
4.Techniques Electro-magnetic
5.Magnetoencephalography
6.Electroencephalography
7.Neural Circuit Theory
8.Attention
9.Reset
10.Perceptual-Based Discrimination Learning
11.proximal
12.perceptual-based discrimination learning
13.The perception of collative properties in visual stimuli
14.Complexity of visual stimuli and non-linear EEG dynamics in humans
15.Fractal dimension of landscape silhouette outlines as a predictor of landscape preference
16.Investigations of human EEG response to viewing fractal patterns
17.The beauty of Unity-in-Variety: Studies on the multisensory aesthetic appreciation of product designs
18.A measurement method for the mismatch between the image target and salient points as a metric for image complexity
19.Electrophysiological Evaluation of Perceived Complexity in Streetscapes
20.Presaccadic EEG activity predicts visual saliency in free-viewing contour integration
21.Processing Fluency
22.Processing Fluency
23.Parahippocampal Place Area
24.Epstein and Vass ,2013

منابع

1. Adli, M. (2011). Urban stress and mental health. Nature, 474(7349), 452–454.
2. Banaei, M., Yazdanfar, A., Nooreddin, M., & Yoonessi, A. (2015). Enhancing urban trails design quality by using electroencephalography device. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 201, 386-396.
3. Boeing Geoff, 2018, Measuring the Complexity of Urban Form and Design, pre print of Urban design International.
4. Cassarino M and Setti A ,2016, Complexity As Key to Designing Cognitive-Friendly Environments for Older People. Front. Psychol. 7:1329. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01329

5. Chiao, J. Y., & Ambady, N. (2010). Cultural neuroscience: Parsing universality and diversity across levels of analysis. Handbook of Cultural Psychology, 237–254. (academic.oup.com)
6. Cohen, M. X. (2014). Analyzing neural time series data: theory and practice. The MIT Press.
7. Cupchik, G. C., & Berlyne, D. E. (1979). The perception of collative properties in visual stimuli. Scandinavian journal of psychology, 20(1), 93-104.
8. Donderi, D. C. ,2006, Visual complexity: A review. Psychological Bulletin, 132(1), 73-97. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.1.73
9. Ellard, C. (2015). Places of the heart: The psychogeography of everyday life. Bellevue Literary Press.
10. Ellard, C. (2015). Places of the heart: The psychogeography of everyday life. Bellevue literary press.
11. Elsheshtawy Yasser, 1997, Urban Complexity: Toward The Measurment of the Physical Complexity of treet-scape, Journal of Architectural and Planning Research Vol ,14 .No ,.pp,316 301 .Published by :Locke Science Publishing Company ,Inc.
12. Frumkin ,H ,.Bratman ,G .N ,.Breslow ,S .J ,.Cochran ,B ,.Kahn ,P .H ,.Lawler ,J .J ,.Levin ,P .S.,.
13. Hagerhall ,C .M ,.Purcell ,T & ,.Taylor ,R .(2004) .Fractal dimension of landscape silhouette outlines as a predictor of landscape preference .Journal of environmental psychology247-255 ,(2)24 ,.
14. Huo Juan, 2015, A measurement method for the mismatch between the image target and salient points as a metric for image complexity, in Science and Information Conference (SAI), pp. 645–649.
15. Huo Juan, 2016, An Image Complexity Measurement Algorithm with Visual Memory Capacity and an EEG Study, SAI Computing Conference, July 13-15, 2016, London, UK.
16. Kacha, L., Matsumoto, N., & Mansouri, A. (2015). Electrophysiological evaluation of perceived complexity in streetscapes. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14(3), 585-592.
17. Lynch, K. (1960). The image of the city. MIT Press.
18. Malik, A. S., & Amin, H. U. (2017). Designing EEG experiments for studying the brain: Design code and example datasets. Academic Press.
19. Mavros, P., Austwick, M.Z. & Smith, A.H., 2016, Geo-EEG: Towards the Use of EEG in the Studyof Urban Behaviour, Appl. Spatial Analysis , 9: 191. https://doi.org/10.1007/s12061-015-9181-z.
20. Mavros, P., Coyne, R., Roe, J., & Aspinall, P. A. ,2012, Engaging the brain: implications of mobile EEG for spatial representation. In Proceedings of the 30th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, September 12-14 2012, Prague, Czech Republic: Digital Physicality (Vol. 2, pp. 657-665)
21. Müller, V., Lutzenberger, W., Preißl, H., Pulvermüller, F., & Birbaumer, N. (2003). Complexity of visual stimuli and non-linear EEG dynamics in humans. Cognitive Brain Research, 16(1), 104-110.
22. Ode, Å., Hagerhall, C. M., & Sang, N. (2010). Analysing visual landscape complexity: theory and application. Landscape research, 35(1), 111-131.
23. Portella Adriana ,2014, Visual Pollution Advertising, Signage and Environmental Quality, Oxford Brookes University, The Joint Centre for Urban Design, UK .
24. Post, R. (2016). The beauty of Unity-in-Variety: Studies on the multisensory aesthetic appreciation of product designs.
25. Rapoport Amos , Hawkes Ron ,1970, The Perception Of Urban Complexity, Journal of the American Institute of Planners36:2, 106-111.
26. Rapoport Amos , Kantor Robert E. ,1967, Complexity and Ambiguity in Environmental Design, Journal of the American Institute of Planners, 33:4, 210-221.
27. Rapoport Amos , Kantor Robert E. ,1967, Complexity and Ambiguity in Environmental Design, Journal of the

American Institute of Planners, 33:4, 210-221.
28. Salingaros Nikos A, 2017, How Neuroscience Can Generate a Healthier Architecture,Conscious Cities Journal No.3, Conscious Cities Anthology 2018: Human-Centred Design, Science, and Technology.
29. Salingaros, N. (2017). Why we need to “grasp” our surroundings: Object affordance and prehension in architecture. Journal of Architecture and Urbanism, 41(3), 163-169.
30. Salingaros, N. A. (2000). Complexity and urban coherence. Journal of Urban Design, 5(3), 291–297.
31. Salingaros, N. A., & Masden, K. (2008). Neuroscience, the natural environment, and building design. Biophilic design: The theory, science and practice of bringing buildings to life, 41(3).
32. Sanei, S., & Chambers, J. A. (2013). EEG signal processing. John Wiley & Sons.
33. Tawil, N., & Kühn, S. (2024). The built environment and the brain: Review of emerging methods to investigate the impact of viewing architectural design. In Environmental Neuroscience (pp. 169–226). Springer. (link.springer.com)
34. Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. Journal of Environmental Psychology, 11(3), 201–221.
35. Van Humbeeck, N., Meghanathan, R. N., Wagemans, J., Van Leeuwen, C., & Nikolaev, A. R. (2018). Presaccadic EEG activity predicts visual saliency in free-viewing contour integration. Psychophysiology, 55(12), e13267.
36. Vidal, F. (2017). Exploring the brain in the city: Neuroscience and urbanism. Frontiers in Human Neuroscience, 11, 482–486

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی