Journal of Cultural Studies and Communication

Journal of Cultural Studies and Communication, Serial 78, Volume 21, Issue 1, Spring 2025
Babazadeh,Amirmohammad; Safari, Hossein; A Systematic Review of user interaction with virtual …; *Cultural Studies & Communication*, 21(1), 317-359. **doi: 10.22034/jcsc.2023.1971105.2612**
DOI:http/dx. doi. org https://doi.org/10.22034/jcsc.2023.1971105.2612 **https://www.jcsc.ir/article_722534.html** ISSN: 2287-2717
© Authors / Access to the full text of the article is free under the Creative Commons BY 4.0 CC license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Research Paper

A Systematic Review of user interaction with virtual reality environment and the relationship of it with architecture

Amirmohammad Babazadeh[1], Hossein Safari[2]

Received :Oct. 19,2022 , Accepted:May. 8,2023

Abstract

Virtual reality technology as a new technology allows users to experience a simulated environment that is similar to a real environment. These systems include different types of interaction with users; therefore, it is possible to identify the principles and solutions of producing an interactive virtual environment, especially in the field of architecture. The importance of creating interaction between the user and the simulated environment in this area is effective in the better understanding of the users of the environment and paying attention to the problem under study, as a result of which we can point to more accurate findings and more valid results. The process of conducting this research was started by defining the general scope of this research which is "user interaction in virtual reality environment" and by examining related keywords, articles were collected in line with this topic and after the final selection, 39 articles were reviewed. Finally, it can be said that virtual reality technology has various applications in various fields such as construction industry, medicine, education, maintenance and other fields. Regarding the connection of this technology with design and architecture as the main concern of this research, this technology increases cooperation and interaction between the members of the design groups and the audience through the capabilities of the simulated virtual environment, and this connection is based on the knowledge of 4 components: 1- users, 2- devices, 3- user activity and 4- evaluation method, as effective factors in creating an effective interactive environment in virtual reality technology.

Keywords: Virtual reality, user interaction, virtual reality equipment, architecture

[1] Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran amirmohamad.babazadeh@gmail.com
[2] Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran (corresponding author) hossein.safari110@gmail.com

1. Introduction

Virtual reality environments, which are shaped based on various types of user interaction, require constant investigation and updates. Although this technology has long been discussed with different definitions, common terms such as computer-based generation, digital environment, interaction, and immersion are often mentioned (Jayaram, Connacher, & Lyons, 1997; Jerald, 2015). Generally, VR can be defined as a computer-generated, artificial space that aims to replicate real environments and allow human users to enter and interact with them (Jayaram et al., 1997; Portman, Natapov, & Fisher-Gewirtzman, 2015).

This virtual environment allows users to become part of the computational system and engage in various types of interaction. VR can be experienced via personal computer systems, head-mounted displays, or immersive installations, depending on the desired level of immersion (Feng, Duives, & Hoogendoorn, 2022; Muhanna, 2015).

The main objective of this study is to identify the core components necessary for creating an interactive VR environment in architectural contexts. Despite the increasing use of VR in architecture, a comprehensive framework for achieving a suitable interactive environment has not yet been presented. By examining VR applications across various fields and analyzing their outcomes, this study seeks to benefit from previous experiences to achieve this goal.

2. Virtual Reality in Architecture

Another widely accepted definition of VR describes it as a three-dimensional computer-generated environment in which users can move and interact in real time (Yung & Khoo-Lattimore, 2017). The fundamental elements of this definition include computer-based generation, digital environment, and immersion.

Due to its many advantages, VR has been used in various architectural domains, including research, education, building maintenance, design processes, and architectural presentations (Bouchlaghem et al., 2005; Wang et al., 2018). It can simulate construction processes, allowing architects to plan more efficient building methods and gain a deeper understanding of their designs. Furthermore, VR facilitates collaboration with engineers and stakeholders across related fields (Abdelhameed, 2013; Sidani et al., 2021).

Thus, VR proves to be a powerful tool for architects and designers by enabling them to create immersive, interactive environments that provide others with experiences unattainable through traditional presentation methods.

3. Key Indicators Influencing User Interaction in VR Environments

Studies on interactive systems must be examined through the lens of human-computer interaction (HCI) and user experience (UX). VR systems require exploration of interaction across three main aspects:

1. **Engineering the VR System**: This includes components such as users, devices, and interaction modalities, all of which significantly impact user interaction (Forlizzi & Battarbee, 2004; Kim et al., 2020).
2. **Enhancing Interactive Components**: Elements such as sense of presence, immersion, and engagement are key to VR systems. High levels of immersion and presence usually result in better user performance (Schuemie et al., 2001; Takatalo et al., 2008). However, these components vary depending on the research context.
3. **Minimizing Side Effects**: Issues such as simulator sickness, posture instability, psychomotor control, perceptual judgment, concentration, stress, and ergonomic concerns need to be addressed (Cobb et al., 1999). Developers must identify and mitigate any negative side effects (Jerald, 2018).

Traditional classifications of VR systems based on immersion levels—non-immersive, semi-immersive, and fully immersive—are limited and mainly focus on visual display features. However, immersion also depends on other elements like interaction methods, context, and user characteristics (Kim et al., 2020).

4. Categorization of Interaction Factors

Interaction factors in interactive systems can be categorized from three perspectives:

- **Product-oriented**
- **User-oriented**
- **Interaction-oriented**

(Forlizzi & Battarbee, 2004)

According to the user experience (UX) model, four features influence interaction components:

1. **System**
2. **User**
3. **Task**
4. **Context**

These features impact instrumental and non-instrumental qualities (Thüring & Mahlke, 2007). Therefore, in VR systems, they are considered primary influencers on user experience. Additionally, the method of UX evaluation must align with research

goals and interaction components. If systems are similar but evaluation methods differ, data interpretations may vary.

According to Kim et al. (2020), the four main components for UX evaluation in VR systems are:

1. Users
2. Devices
3. User Activities
4. Evaluation Method

5. Research Methodology

This study uses a **meta-analysis** approach, which systematically investigates a specific domain using defined protocols for data selection and integration. Library research was used to collect data. Initially, 75 relevant articles were collected using keywords like "virtual reality", "VR", "user experience", and "interaction". After screening, 39 high-quality studies were selected.

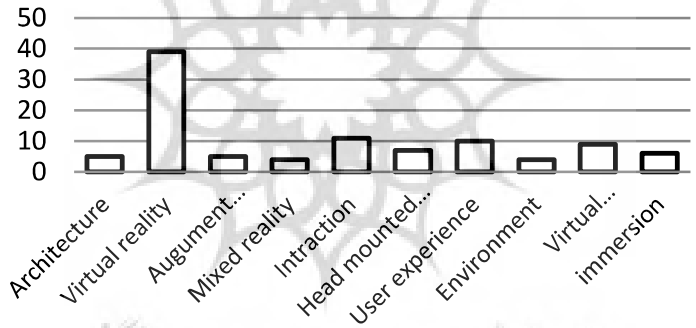


Chart 1: Most frequent keywords in reviewed studies

Based on selected articles, the findings were synthesized and related to architectural applications.

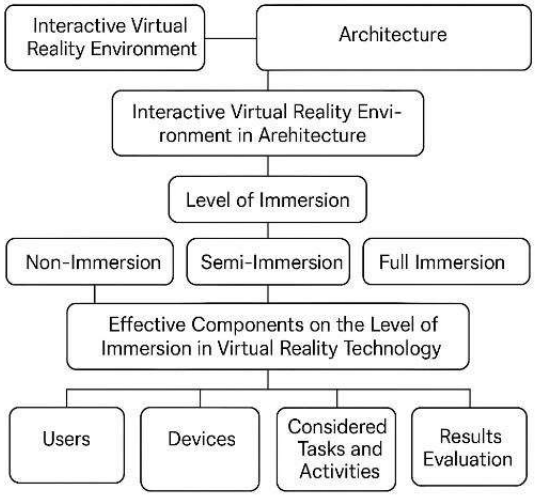


Figure 1: Research framework and methodology overview

6. Criteria for Article Selection

Only peer-reviewed journal articles and influential theoretical books (in English) were selected. Reports, news items, and theses were excluded. Articles were chosen based on:

- Relevance to VR environments
- Use of key terms (e.g., VR, user interaction, UX)
- Coverage across fields such as healthcare, design, education, maintenance

Databases used included: **Scopus**, **Web of Science**, **ScienceDirect**, **IEEE Xplore**, **EBSCO**, **ProQuest**, etc.

7. Findings

7.1 Role of Users in VR Interaction

Participants ranged from 10 to 90 years old, with the majority between 10–20 years. Some studies did not report age data, grouped under "no information" in **Chart 2**. Physically, most participants were healthy; a few had mobility issues, mostly in medical-related studies. Elderly participants were often used in therapy-related research.

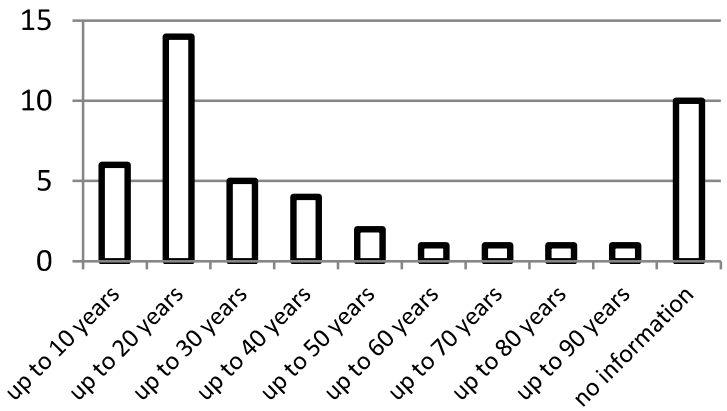


Chart 2: Age range of participants in studies

7.2 Role of Devices in VR Interaction

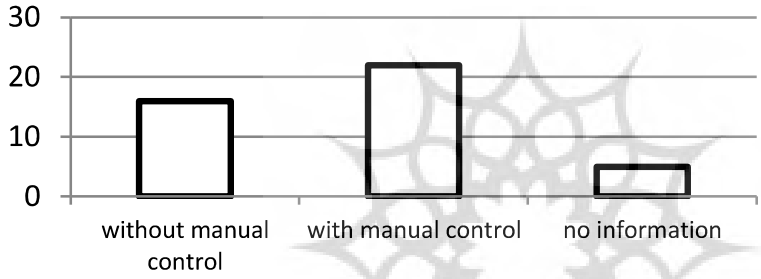


Chart 3: Input devices with/without manual control

Studies used both types. When manual controls were not used, **head tracking** was most common, along with other motion-based inputs like:

- Body posture analysis (Brade et al., 2017)
- Eye-tracking (Vinnikov et al., 2017)
- Voice recognition (Pick et al., 2016)
- Pressure-sensitive devices like omnidirectional treadmills

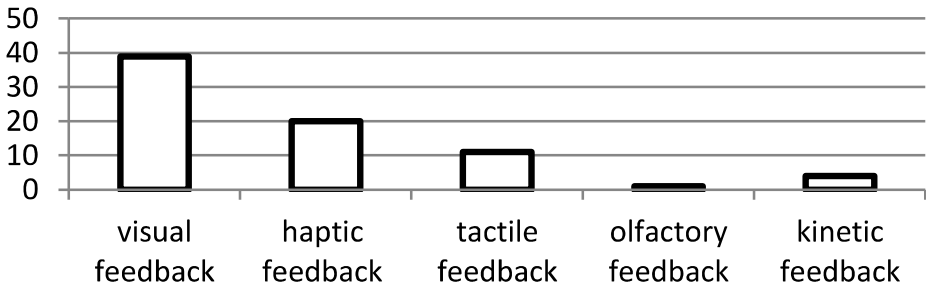


Chart 4: Output feedback types

Visual feedback was most used, followed by **haptic feedback** (e.g., wind simulation, vibrations), and in rare cases, **olfactory feedback** to enhance immersion (Baus & Bouchard, 2017).

7.3 Role of User Activity in VR Interaction

Charts 5, 6, and 7 classify user activities by:

- Number of users (single/multi-user)
- Body posture (standing/sitting)
- Assigned tasks (interactive/passive)

Most studies involved **single users**. Standing posture allowed greater freedom and better environmental understanding (Anton et al., 2018; de Jesus Oliveira et al., 2018).

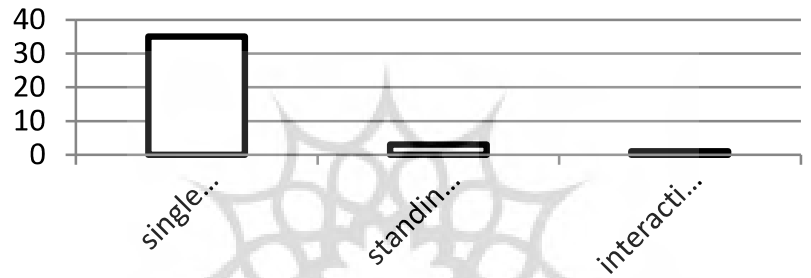


Chart 5: Number of users in VR environments

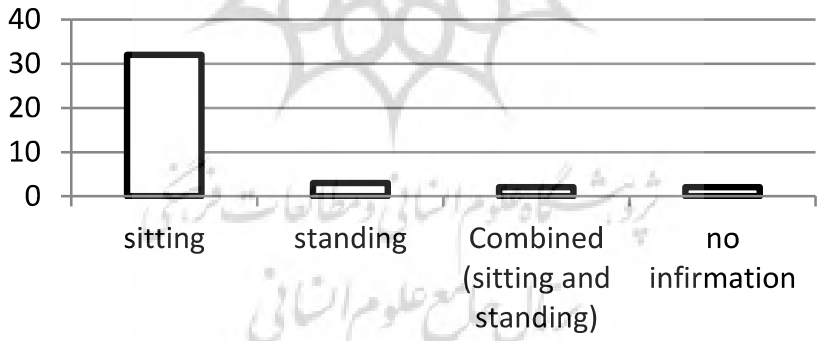


Chart 6: User posture during interaction

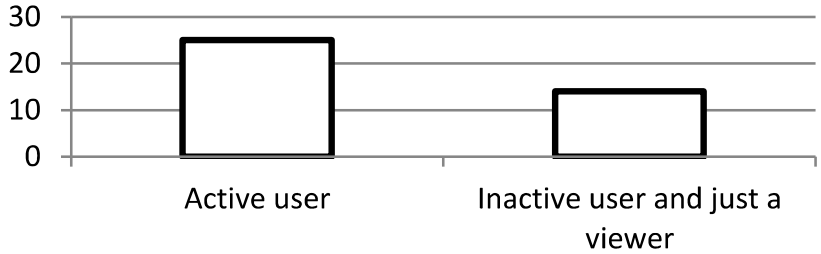


Chart 7: Type of tasks assigned to users

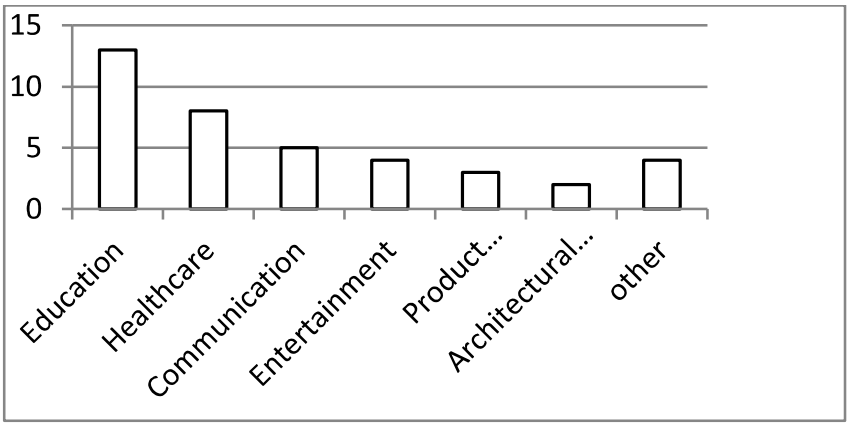


Chart 8: Common application areas of VR systems include:

7.4 Role of Evaluation Methods

Most studies used **subjective and quantitative evaluation methods** (e.g., questionnaires). Very few relied solely on objective measurements. This indicates the focus on subjective experiences such as **presence** and **immersion**.

Most common environments for testing were laboratories.

Most systems were **functional prototypes**, while a few used **commercial VR content and devices**.

No studies performed evaluation during or before the VR experience; all assessments were **post-experience**

8. Conclusion

This meta-analysis reviewed VR systems and their applications, aiming to connect them with architectural practice by identifying effective interaction components.

Architecture, with its various academic and professional branches, has immense potential for VR use, especially in:

- Reducing time and labor
- Saving costs and materials
- Improving decision-making before actual construction

In academic fields, VR can validate hypotheses with greater accuracy. In design and implementation, VR fosters collaboration among teams and helps detect unseen flaws before execution.

To create an **interactive VR environment in architecture**, the following steps are essential:

1. **Define the goal** of using VR
2. **Select appropriate users** (informed participants increase interaction quality)

3. **Engineer the right devices** to match the desired level of immersion
4. **Assign meaningful tasks** aligned with the research purpose
5. **Use effective evaluation methods**, preferably post-experience
6. **Analyze data correctly**, especially when combining methods or devices

In architecture, VR can be applied to:

- Construction
- Research
- Education
- Maintenance
- Navigation
- Virtual tours
- Simulation of research models

While the four core components (users, devices, activities, evaluation) guide interaction, **further study is needed**, particularly in optimizing input/output device configurations and enhancing realism.

Bibliography

Abdelhameed, W. A. (2013). Virtual Reality Use in Architectural Design Studios: A case of studying structure and construction. *Procedia Computer Science, 25*, 220-230.

Abich, J., Parker, J., Murphy, J. S., & Eudy, M. (2021). A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. *Virtual Reality, 25*(4), 919-933. doi:10.1007/s10055-020-00498-8

Anton, D., Kurillo, G., & Bajcsy, R. (2018). User experience and interaction performance in 2D/3D telecollaboration. *Future Generation Computer Systems, 82*, 77-88. doi:https://doi.org/10.1016/j.future.2017.12.055

Baus, O., & Bouchard, S. (2017). Exposure to an unpleasant odour increases the sense of presence in virtual reality. *Virtual Reality, 21*, 59-74.

Bian, Y., Yang, C., Gao, F., Li ,H., Zhou, S., Li, H., . . . Meng, X. (2016). A framework for physiological indicators of flow in VR games: construction and preliminary evaluation. *Personal and Ubiquitous Computing, 20*, 821-832.

Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005 .(Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction, 14*(3), 287-295. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.012

Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J., Jr., & Poupyrev, I. (2001). An Introduction to 3-D User Interface Design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 10*(1), 96-108. doi:10.1162/105474601750182342

Brade, J., Lorenz, M., Busch, M., Hammer, N., Tscheligi, M., & Klimant, P. (2017). Being there again–Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task. *International Journal of Human-Computer Studies, 101*, 76-87.

Cobb, S. V. G., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISE). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8*(2), 169-186. doi:10.1162/105474699566152

Culbertson, H., & Kuchenbecker, K. J. (2017). Importance of Matching Physical Friction, Hardness, and Texture in Creating Realistic Haptic Virtual Surfaces. *IEEE Transactions on Haptics, 10*(1), 63-74. doi:10.1109/TOH.2016.2598751

de Jesus Oliveira, V. A., Nedel, L., & Maciel, A. (2018). Assessment of an articulatory interface for tactile intercommunication in immersive virtual environments. *Computers & Graphics, 76*, 18-28.

Feng, Y., Duives, D. C., & Hoogendoorn, S. P. (2022). Wayfinding behaviour in a multi-level building: A comparative study of HMD VR and Desktop VR. *Advanced Engineering Informatics, 51*, 101475. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei۲۰۲۱,۱۰۱۴۷۵.

Forlizzi, J., & Battarbee, K. (2004). *Understanding experience in interactive systems.* Paper presented at the Proceedings of the 5th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques, Cambridge, MA, USA. https://doi.org/10.1145/1013115.1013152

Hartson, R., & Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience*: Elsevier.

Hepperle, D., Weiß, Y., Siess, A., & Wölfel, M. (2019). 2D, 3D or speech? A case study on which user interface is preferable for what kind of object interaction in immersive virtual reality. *Computers & Graphics, 82*, 321-331. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.06.003

Howard, M. C. (2017). A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Computers in Human Behavior, 70*, 317-327. doi:https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.013

Jayaram, S., Connacher, H. I., & Lyons, K. W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *Computer-Aided Design* ,۵۸۴-۵۷۵ ,(۸)۲۹ ,doi:https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00094-2

Jerald, J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.

Jerald, J. (2018). Human-Centered VR Design: Five Essentials Every Engineer Needs to Know. *IEEE Computer Graphics and Applications, 38*(2), 15-21. doi:10.1109/MCG.2018.021951628

Kageyama, A., & Tomiyama, A. (2016). Visualization framework for CAVE virtual reality systems. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 7*(04), 1643001.

Kim, Y. M., Rhiu, I., & Yun, M. H. (2020). A Systematic Review of a Virtual Reality System from the Perspective of User Experience. *International Journal of Human–Computer Interaction, 36*(10), 893 .۹۱۰–doi:10.1080/10447318.2019.1699746

Kober, S. E., & Neuper, C. (2013). Personality and presence in virtual reality: Does their relationship depend on the used presence measure? *International Journal of Human-Computer Interaction, 29*(1), 13-25.

Koutsabasis, P., & Vosinakis, S. (2018). Kinesthetic interactions in museums: conveying cultural heritage by making use of ancient tools and (re-) constructing artworks. *Virtual Reality, 22*(2), 103-118. doi:10.1007/s10055-017-0325-0

Kozhevnikov, M., & Gurlitt, J .(۲۰۱۳) *Immersive and non-immersive virtual reality system to learn relative motion concepts.* Paper presented at the 2013 3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference.

Kyriakou, M., Pan, X., & Chrysanthou, Y. (2017). Interaction with virtual crowd in Immersive and semi-Immersive Virtual Reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds, 28*(5), e1729.

Li, X., Yi, W., Chi, H.-L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction, 86*, 150-162. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003

Lin, Y., Breugelmans, J., Iversen, M., & Schmidt, D. (2017). An Adaptive Interface Design (AID) for enhanced computer accessibility and rehabilitation. *International Journal of Human-Computer Studies, 98*, 14-23. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.09.012

Monteiro, P., Carvalho, D., Melo, M., Branco, F., & Bessa, M. (2018). Application of the steering law to virtual reality walking navigation interfaces. *Computers & Graphics, 77*, 80-87.

Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 27*(3), 344-361. doi:https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023

Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 27*(3), 344-361.

Narciso, D., Bessa, M., Melo, M., Coelho, A., & Vasconcelos-Raposo, J. (2019). Immersive 360 video user experience: impact of different variables in the sense of presence and cybersickness. *Universal Access in the Information Society, 18*(1), 77-87. doi:10.1007/s10209-017۵-۰۵۸۱-

Oprea, S., Martinez-Gonzalez, P., Garcia-Garcia, A., Castro-Vargas, J. A., Orts-Escolano, S., & Garcia-Rodriguez, J. (2019). A visually realistic grasping system for object manipulation and interaction in virtual reality environments. *Computers & Graphics, 83*, 77-86. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.07.003

Oprean, D., Simpson, M., & Klippel, A. (2017). Collaborating remotely: an evaluation of immersive capabilities on spatial experiences and team membership. *International Journal of Digital Earth, 11*, 1-17. doi:10.1080/17538947.2017.1381191

Pedroli, E., Greci, L., Colombo, D., Serino, S., Cipresso, P., Arlati, S., . . . Gaggioli, A. (2018). Characteristics, Usability, and Users Experience of a System Combining Cognitive and Physical Therapy in a Virtual Environment: Positive Bike. *Sensors, 18*(7), 2343.

Pick, S., Weyers, B., Hentschel, B., & Kuhlen, T. W. (2016). Design and Evaluation of Data Annotation Workflows for CAVE-like Virtual Environments. *IEEE Trans Vis Comput Graph, 22*(4), 1452-146 .۱doi:10.1109/tvcg.2016.2518086

Portman, M. E., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems* ۳۸۴-۳۷۶ ,۵۴ , doi:https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001

Reyes-Lecuona, A., & Diaz-Estrella, A. (2006). *New interaction paradigms in virtual environments.* Paper presented at the MELECON 2006-2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference.

Riecke, B. E., Schulte-Pelkum, J., Caniard, F., & Bulthoff, H. H. (2005). *Towards lean and elegant self-motion simulation in virtual reality.* Paper presented at the IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.

Roto, V., Law, E., Vermeeren, A., & Hoonhout, J. (2011). *Bringing clarity to the concept of user experience.* Paper presented at the Result from Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience.

Safikhani, S., Keller, S., Schweiger, G., & Pirker, J. (2022). Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: systematic review. *International Journal of Digital Earth, 15*(1), 503-526. doi:10.1080/17538947.2022.2038291

Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M., & van der Mast, C. A. (2001). Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychol Behav, 4*(2), 183-201. doi:10.1089/109493101300117884

Schulze, K., & Krömker, H. (2010). *A framework to measure user experience of interactive online products.* Paper presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, Eindhoven, The Netherlands. https://doi.org/10.1145/1931344.1931358

Sidani, A., Dinis, F. M., Duarte, J., Sanhudo, L., Calvetti ,D., Baptista, J. S., . . . Soeiro, A. (2021). Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review. *Journal of Building Engineering, 42*, 102500.

Takatalo, J., Nyman, G., & Laaksonen, L. (2008). Components of human experience in virtual environments. *Computers in Human Behavior, 24*(1), 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.chb.2006.11.003

Thüring, M., & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology, 42* . (4) 253- 264. doi:https://doi.org/10.1080/00207590701396674

Turchet, L., Burelli, P., & Serafin, S. (2013). Haptic Feedback for Enhancing Realism of Walking Simulations. *IEEE Transactions on Haptics, 6*(1), 35-45. doi:10.1109/TOH.2012.51

Tussyadiah, I. P ,.Wang, D., Jung, T. H., & tom Dieck, M. C. (2018). Virtual reality, presence, and attitude change: Empirical evidence from tourism. *Tourism Management, 66*, 140-154. doi:https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.12.003

Vinnikov, M., Allison, R. S., & Fernandes ,S. (2017). Gaze-contingent auditory displays for improved spatial attention in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 24*(3), 1-38.

Wang, J., & Lindeman, R. (2015). Coordinated hybrid virtual environments: Seamless interaction contexts for effective virtual reality. *Computers & Graphics, 48*, 71-83. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.02.007

Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., & Wang, X. (2018). A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(6), 1204.

Yung, R., & Khoo-Lattimore, C. (2017). New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism, 22*, 1-26. doi:10.1080/13683500.2017.1417359

Zhang, H. (2017). Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology, 27*(4), 717-7 .۲۲ doi:https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فصلنامه مطالعات فرهنگی و ارتباطات، پیاپی ۷۸، دوره ۲۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

بابازاده، امیرمحمد؛ صفری، حسین. مرور فراتحلیلی تعامل کاربران با محیط واقعیت مجازی و ارتباط آن با معماری؛ مطالعات فرهنگی و ارتباطات ، ۲۱ (۱)؛ ۳۱۷-۳۵۹.

doi: 10.22034/jcsc.2023.1971105.2612

DOI:http/dx. doi. org https://doi.org/10.22034/jcsc.2023.1971105.2612. https://www.jcsc.ir/article_722534.html شاپا: 2287-2717

©نویسندگان / دسترسی به متن کامل مقاله براساس قوانی کریتیو کامانز BY 4. 0 CC آزاد است(https://creativecommons. org/licenses/by/4. 0)

مقاله پژوهشی

مرور فراتحلیلی تعامل کاربران با محیط واقعیت مجازی و ارتباط آن با معماری

امیرمحمد بابازاده[۱]، حسین صفری[۲]

تاریخ دریافت:۰۱/۰۷/۲۷، تاریخ تایید:۰۲/۰۲/۱۸

چکیده

فناوری واقعیت مجازی به‌عنوان یک فناوری نوین به کاربران اجازه می‌دهد محیطی شبیه‌سازی‌شده‌ای که شبیه به یک محیط واقعی است را تجربه کنند. این سیستم‌ها انواع مختلفی از تعامل با کاربران را شامل می‌شوند؛ بنابراین می‌توان با بررسی نمونه‌های مرتبط، اصول و راهکارهای تولید یک محیط مجازی تعاملی را خصوصاً در حوزه معماری شناسایی کرد. اهمیت ایجاد تعامل بین کاربر و محیط شبیه‌سازی‌شده در این حوزه در درک بهتر کاربران از محیط و توجه به مسئله موردمطالعه تأثیرگذار است که درنتیجه آن می‌توان به یافته‌های دقیق‌تر و نتایج معتبرتر اشاره کرد. این پژوهش به روش فراتحلیل انجام‌شده و جمع‌آوری مطالب از طریق کتابخانه‌ای صورت گرفته است. روند انجام این پژوهش در ابتدا با مشخص شدن حوزه کلی این پژوهش که «تعامل کاربر در محیط واقعیت مجازی» است، آغاز و با بررسی کلیدواژه‌های مرتبط، مقالات در راستای این موضوع جمع‌آوری شدند و سپس پس از گزینش نهایی تعداد ۳۹ مقاله موردبررسی قرار گرفت. درنهایت می‌توان بیان داشت که فناوری واقعیت مجازی در زمینه‌های گوناگونی همانند: صنعت ساختمان، پزشکی، آموزش، نگهداری و سایر زمینه‌ها کاربردهای متنوعی دارد. در مورد ارتباط این فناوری با حوزه معماری به‌عنوان دغدغه اصلی این پژوهش نیز مشخص شد که این فناوری به‌واسطه قابلیت‌های محیط مجازی شبیه‌سازی‌شده، باعث افزایش همکاری و تعامل بین اعضای گروه‌های طراحی، مهندسین و مخاطبین می‌شود و این ارتباط به‌واسطه شناخت از ۴ مؤلفه: ۱- کاربران، ۲- دستگاه‌ها، ۳- فعالیت کاربران و ۴- روش ارزیابی، به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد یک محیط تعاملی مؤثر در فناوری واقعیت مجازی حاصل می‌شود.

کلیدواژگان: واقعیت مجازی، تعامل با کاربر، تجهیزات واقعیت مجازی، معماری

[۱]. گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران amirmohamad.babazadeh@gmail.com

[۲]. گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران (نویسنده مسئول)
hossein.safari110@gmail.com

مقدمه

محیط واقعیت مجازی[1] که می‌تواند بر پایه انواع مختلف تعامل با کاربران شکل بگیرد، نیازمند بررسی و به‌روزرسانی‌های مداوم در ارتباط با این تعاملات است. اگرچه این فناوری برای مدت طولانی موردبحث بوده و تعاریف مختلفی برای آن در نظر گرفته‌شده است اما می‌توان از عبارات؛ تولید بر پایه توان کامپیوتر[2]، محیط دیجیتالی[3]، تعامل[4] و تحت تأثیر (غوطه‌وری در) کامپیوتر[5] را به‌عنوان عبارات مشترک در تعاریف نام برد (Jayaram, Connacher, & Lyons, 1997; Jason Jerald, 2015) اما در یک در تعریف کلی برای این فناوری می‌توان این‌گونه بیان کرد: واقعیت مجازی که بر پایه توان رایانه تولید می‌شود، فضایی است مصنوع و مجازی که سعی در بازنمایی محیط واقعی دارد و انسان می‌تواند در داخل آن فضا قرار بگیرد (Jayaram et al., 1997; Portman, Natapov, & Fisher-Gewirtzman, 2015). در حقیقت این محیط مجازی که انسان در آن قرار می‌گیرد موجب می‌شود تا کاربر به‌نوعی، جزئی از سیستم کامپیوتری باشد و با آن به انواع گوناگون تعامل برقرار کند. این فناوری را می‌توان در یک سیستم کامپیوتری شخصی و یا بر روی مانیتورهای روی سر[6] ارائه شود و یا به‌صورت مشخصی انسان را درون یک محیط[7] قرار دهد که در هر یک از موارد بسته به نیاز در ارتباط با سطح غوطه‌وری کاربر در محیط واقعیت مجازی تصمیم‌گیری و اقدام می‌شود (Feng, Duives, & Hoogendoorn, 2022; Muhanna A. Muhanna, 2015).

امروزه شاخه‌های معماری، مهندسی و ساخت‌وساز[8] در ارتباط با یکدیگر قرار داشته و همواره به دنبال مدیریت درست منابع و روند بهینه جهت انجام پروژه‌ها می‌باشند. همچنین استفاده از این فناوری در حوزه‌های دانشگاهی علاوه بر حوزه‌های طراحی و اجرا سبب شده است تا پرداختن به این موضوع و فهم چگونگی ایجاد یک محیط تعاملی در حوزه معماری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Safikhani, Keller, Schweiger, & Pirker, 2022).

[1] Virtual Reality (VR)
[2] Computer-generated
[3] Digital environment
[4] Interaction
[5] Immersion
[6] HMD (Head Mounted Display)
[7] Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)
[8] Architecture, Engineering, and Construction (AEC)

در پژوهش‌های پیشین در ارتباط با واقعیت مجازی، کاربران در بازخوردهای خود از عدم ارتباط درست با محیط شبیه‌سازی‌شده سخن گفته‌اند از همین رو پیدا کردن راهکارهایی جهت ایجاد هرچه بهتر این تعامل بین کاربر و محیط شبیه‌سازی‌شده در فناوری واقعیت مجازی اهمیت دارد (Feng et al., 2022). در پژوهشی که در ارتباط با کاربرد مؤلفه‌های تعامل کاربر با محیط[1] در محیط مجازی انجام‌شده، طبقه‌بندی را برای انواع سیستم‌های واقعیت مجازی از دیدگاه تعامل انسان و کامپیوتر[2] و تعامل کاربر با محیط مجازی پیشنهاد می‌کند. اساس این طبقه‌بندی میزان سطح غوطه‌وری کاربر در محیط مجازی است که در سه سطح؛ ۱- غیر غوطه‌ور[3]، ۲- نیمه غوطه‌ور[4] و ۳- غوطه‌وری کامل[5] طبقه‌بندی می‌شود (Kozhevnikov & Gurlitt, 2013; Kyriakou, Pan, & Chrysanthou, 2017). بر این اساس میزان تعامل کاربران با محیط واقعیت مجازی می‌تواند طبقه‌بندی شود که اساس آن میزان غوطه‌وری آن‌ها در محیط مجازی است. از طرف دیگر مطالعات نشان می‌دهد که امروزه با تجاری‌سازی مانیتورهای روی سر و معرفی فناوری‌های پیشرفته مرتبط، چشم‌انداز این فناوری بسیار موردتوجه قرارگرفته است (Tussyadiah, Wang, Jung, & tom Dieck, 2018). گرچه به نظر می‌رسد این فناوری نیز ارتباط مستقیمی با میزان غوطه‌وری کاربر در محیط واقعیت مجازی داشته باشد و به‌نوعی بتوان زیرمجموعه همان دسته‌بندی میزان غوطه‌وری در نظر گرفت اما میزان این غوطه‌وری بر اساس نوع مانیتور و نحوه ارائه و ارزیابی نیاز به مطالعات بیشتری دارد (Kim et al., 2020).

پژوهشی در ارتباط با بهترین نحوه تعامل با یک شیء[6] مجازی در محیط واقعیت مجازی با بررسی برقراری ارتباط با محیط مجازی به صورت‌های گوناگون مانند دیداری و گفتاری صورت گرفته. ازجمله ابزارهای مورداستفاده در این پژوهش، مانیتورهای روی سر بوده که در بخش دیداری مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج حاکی از آن است که امکان برقراری ارتباط با گفتار بسیار رضایت‌بخش‌تر از سایر روش‌ها بوده اما می‌بایست عوامل دیگری جهت ایجاد بهترین نوع تعامل با محیط مجازی شناسایی شوند. این پژوهش مشخص کرده است که تعامل با محیط

1 User Experience (UX)

2 Human–Computer Interaction (HCI)

3 Non-immersive

4 Semi-immersive

5 Full immersive

6 Object

واقعیت مجازی صرفاً تک‌بعدی و از راه بصری نبوده و اضافه‌کردن بعدهای دیگر جهت ایجاد تعامل کاربر با محیط می‌تواند مؤثر باشد (Hepperle, Weiß, Siess, & Wölfel, 2019).

هدف اصلی این پژوهش یافتن مؤلفه‌های اصلی ایجاد یک محیط تعاملی در محیط واقعیت مجازی در حوزه معماری است چراکه در حال حاضر با توجه به کاربرد بسیار این فناوری در این رشته، مبانی و چارچوب مشخصی جهت رسیدن به یک محیط تعاملی مناسب به‌طور جامع ارائه نشده است، می‌باشد و جهت رسیدن به این مهم با بررسی این فناوری در حوزه‌های متفاوت و بررسی نتایج آن‌ها سعی شده است تا از تجربیات دیگر پژوهش‌ها در راستای رسیدن به این هدف استفاده شود. در این پژوهش که به روش فراتحلیل انجام‌شده، جمع‌آوری داده‌ها به شیوه‌ی کتابخانه‌ای صورت گرفته است. روند انجام این پژوهش در ابتدا با مشخص شدن حوزه کلی این پژوهش که «تعامل کاربر در یک محیط واقعیت مجازی» است آغاز و تعداد ۷۵ مقاله در همین حوزه با استفاده از کلیدواژه‌ها و منبع شناسی مقالات معتبر جمع‌آوری شد. در انتخاب مقالات جمع‌آوری‌شده برای بررسی و تحلیل نهایی، تعداد ۳۹ مقاله مورد ارزیابی نهایی قرار گرفت.

واقعیت مجازی در معماری

از دیگر تعاریف عمومی پذیرفته‌شده برای واقعیت مجازی، استفاده از محیط سه‌بعدی کامپیوتری است که کاربر می‌تواند با آن حرکت کند و با آن تعامل داشته باشد که این مسئله درنتیجه شبیه‌سازی آنی[1] است (Yung & Khoo-Lattimore, 2017)؛ این تعریف نیز در ماهیت خود از همان مؤلفه‌های مشترک مانند تولید بر پایه توان کامپیوتر، محیط دیجیتالی و غوطه‌وری در سایر تعاریف استفاده کرده است. فناوری واقعیت مجازی به دلیل مزایا و امکاناتی که در اختیار استفاده‌کنندگان قرار داده است، در حوزه‌های متفاوتی ازجمله معماری استفاده‌شده است(Bouchlaghem, Shang, Whyte, & Ganah, 2005; P. Wang, Wu, Wang, Chi, & Wang, 2018). این فناوری در بخش‌های متفاوتی در رشته معماری نیز استفاده‌شده است که می‌توان به: تحقیق و پژوهش، آموزش، تعمیر و نگهداری از بنا، فرایند و روند طراحی و یا ارائه طرح‌های معماری، اشاره کرد. این فناوری می‌تواند برای شبیه‌سازی فرآیندهای ساخت‌وساز استفاده شود و به معماران این امکان را می‌دهد تا برای روش‌های ساخت‌وساز کارآمد برنامه‌ریزی کنند. بنابراین این فناوری می‌تواند معماران را با درک جامع‌تری از طرح‌های خود آشنا کند و

[1] Real-time simulation

امکان همکاری و ارتباط بیشتر با دیگر افراد را در حوزه‌های مرتبط دیگر فراهم کند (Abdelhameed, 2013; Sidani et al., 2021).

درنتیجه می‌توان بیان داشت که واقعیت مجازی می‌تواند ابزاری فوق‌العاده قدرتمند برای معماران و طراحان باشد چراکه به کمک این فناوری معماران می‌توانند محیط‌های تعاملی با ایجاد سطحی از غوطه‌وری ایجاد کنند که به دیگران اجازه می‌دهد طرح‌های خود را به‌گونه‌ای تجربه کنند که به روش‌های سنتی ارائه، قادر به تجربه آن نبودند.

شاخصه‌های تأثیرگذار در تعامل کاربران در محیط واقعیت مجازی

مطالعات بر روی سیستم‌هایی که به‌طور فعال با کاربران تعامل دارند باید از منظر تعامل انسان و کامپیوتر و تجربه کاربر موردبررسی قرار بگیرند. از این منظر، سیستم واقعیت مجازی به تحقیق در زمینه تعامل کاربران در سه جنبه نیاز دارد. اولین جنبه موردبررسی در تعامل با کاربران مهندسی سیستم واقعیت مجازی است؛ به این معنی که مؤلفه‌های مانند کاربران، دستگاه‌ها و نحوه تعاملات تعریف‌شده می‌توانند بر میزان تعامل کاربران تأثیرگذار باشند. (Forlizzi & Battarbee, 2004; Kim et al., 2020). مسئله دوم، شناخت و تقویت مؤلفه‌های تعاملی است. مؤلفه‌های تعاملی مانند حس حضور در محیط[1]، غوطه‌وری در محیط[2] و درگیر شدن با محیط[3] که فناوری واقعیت مجازی به دنبال آن است ازجمله این مؤلفه‌ها می‌باشند که نیاز به تقویت در آن‌ها لازم به نظر می‌رسد. (Schuemie, van der Straaten, Krijn, & van der Mast, 2001; Takatalo, Nyman, & Laaksonen, 2008). به‌طورکلی در محیط‌های واقعیت مجازی که حس حضور و غوطه‌وری بیشتری دارای درجه بالایی است، عملکرد کاربران افزایش می‌یابد. در ارتباط با مؤلفه‌های تعاملی که می‌توانند بیان داشت که این مؤلفه‌ها می‌توانند برای هر موضوع تحقیق متفاوت باشند؛ بنابراین، مطالعه مؤلفه‌های تعامل در محیط واقعیت مجازی برای دستیابی مؤثر به هدف نهایی اهمیت بسیار بالایی دارد (Kim et al., 2020). سومین جنبه در ارتباط با کاهش اثرات جانبی ناشی از تجربه محیط واقعیت مجازی است که می‌تواند تأثیر منفی بر تجربه تعامل کاربر در آن محیط داشته باشد، ضروری است. از اثرات منفی مربوط به‌سلامت و ایمنی برای محیط‌های مجازی گوناگون می‌توان به: بیماری شبیه‌ساز، بی‌ثباتی وضعیتی، کنترل روانی

[1] Presence
[2] Immersion
[3] Engagement

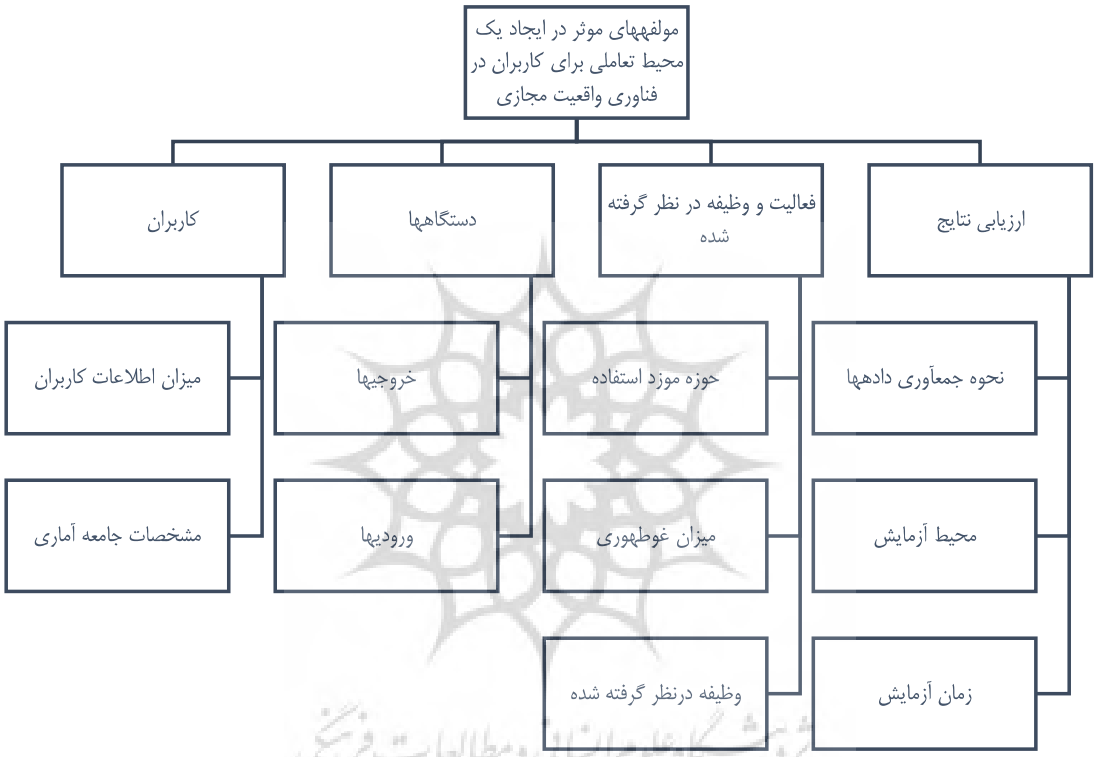
حرکتی، قضاوت ادراکی، تمرکز، استرس و اثرات ارگونومی که این موارد تحت عنوان علائم و اثرات ناشی از واقعیت مجازی[1] می‌باشند یادکرد (Cobb, Nichols, Ramsey, & Wilson, 1999). در ارتباط با این‌گونه اثرات منفی پژوهشگران تأکید کردند که توسعه‌دهندگان واقعیت مجازی باید هر نوع اثرات نامطلوب تجربه محیط واقعیت مجازی را درک و تشخیص دهند. علاوه بر این، ممکن است هنگام توسعه این فناوری جدید، مشکلات احتمالی جدیدی به وجود بیاید؛ بنابراین، مطالعه تأثیرت منفی در یک سیستم واقعیت مجازی جهت ایجاد یک تجربه ایمن از اهمیت بالایی برخوردار است (J. Jerald, 2018; Kim et al., 2020).

پیش‌ازاین، سیستم‌های واقعیت مجازی به‌طورکلی بر اساس معیارهای سطح غوطه‌وری طبقه‌بندی یا توصیف می‌شدند که عبارت‌اند از: غیر غوطه‌ور، نیمه غوطه‌ور و غوطه‌ور کامل. بااین‌حال، معیارهای ذکرشده جهت طبقه‌بندی سیستم‌های واقعیت مجازی دارای محدودیت است. این طبقه‌بندی تنها به ویژگی نمایش بصری محدود می‌شود و این در حالی است که این فناوری متشکل از اجزای مختلفی است که نمایشگر یکی از آن اجزا است. اگرچه ویژگی‌های نمایش بصری تأثیر بسیار زیادی در این محیط دارد اما احساس غوطه‌وری را می‌توان با عواملی غیر از نمایش بصری بهبود یا کاهش داد. از دیگر نقاط ضعف این طبقه‌بندی نبود معیار مشخص برای سطح نیمه غوطه‌ور است؛ علاوه بر این، تعریف سطح غوطه‌وری خود وابسته به مؤلفه‌های دیگری است و ممکن است حتی برای شرایط طبقه‌بندی یکسان و به جهت وجود اهداف مختلف و یا جوامع آماری گوناگون متفاوت باشد (Forlizzi & Battarbee, 2004; Kim et al., 2020).

در نگاهی دیگر و دسته‌بندی متفاوت، عوامل مؤثر بر تعامل در سیستم‌های تعاملی را می‌توان از دیدگاه محصول محور[2]، کاربر محور[3] و تعامل محور[4] دسته‌بندی کرد (Forlizzi & Battarbee, 2004). در مدل مؤلفه‌های تجربه کاربر[5]، ۴ ویژگی: ۱- سیستم، ۲- کاربر، ۳- وظیفه و ۴- زمینه بر مؤلفه‌های تعاملی (مانند کیفیت ابزاری و غیر ابزاری) تأثیر می‌گذارند (Thüring & Mahlke, 2007)؛ بنابراین، در سیستم‌های واقعیت مجازی این ۴ ویژگی را می‌توان به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر تجربه کاربر مشخص کرد. علاوه بر این، روش ارزیابی تجربه کاربر باید به‌طور مناسب

[1] Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISEs)
[2] Product-centric
[3] User-centric
[4] Interaction-centric
[5] Components of User Experience (CUE)

مطابق باهدف تحقیق و مؤلفه‌های تعاملی که باید رعایت شوند، اتخاذ شود. پژوهش‌ها مشخص کرده‌اند که اگر ویژگی‌های سیستم‌ها یکسان باشند ولی روش ارزیابی آن‌ها متفاوت باشد، نوع داده نهایی و تفسیر حاصل ممکن است متفاوت باشد. درنتیجه می‌توان ۴ مؤلفه برای ارزیابی تجربه کاربر در سیستم واقعیت مجازی در نظر گرفت که عبارت‌اند از: ۱-کاربران، ۲- دستگاه‌ها، ۳- فعالیت کاربر و ۴- روش ارزیابی (Kim et al., 2020).



شکل ۱: مولفه های موثر در ایجاد یک محیط تعاملی برای کاربران در فناوری واقعیت مجازی، با الهام از (Kim, Rhiu, & Yun, 2020)

درنهایت می‌توان بیان داشت که جهت ایجاد و یا بهبود تعامل کاربران در محیط واقعیت مجازی دسته‌بندی‌های متفاوتی وجود دارد که البته مشترکات زیادی با یکدیگر دارا هستند. مهندسی سیستم واقعیت مجازی، شناخت و تقویت مؤلفه‌های تعاملی و کاهش اثرات جانبی به‌نوعی می‌توانند سطوح غوطه‌وری را مشخص کنند. انتخاب دستگاه‌های ورودی و خروجی (مهندسی سیستم واقعیت مجازی) و شناخت مؤلفه‌های تعاملی به نسبت پژوهش موردنظر می-تواند سطح غوطه‌وری را از میان سطوح غیر غوطه‌ور، نیمه غوطه‌ور و غوطه‌ور کامل تعیین کند؛

همچنین بسته به سطح غوطه‌وری، پژوهشگر می‌بایست نسبت به اثرات جانبی ناشی از آن پیش-بینی داشته باشد تا کاربران و استفاده‌کنندگان از محیط واقعیت مجازی بتوانند تجربه و تعامل مناسبی داشته باشند. با شناخت این مؤلفه‌ها که در شکل مشخص‌شده است و بررسی هر یک با توجه به هدف نهایی استفاده از محیط واقعیت مجازی می‌توان تا حد بسیار زیادی از ایجاد یک محیط تعاملی مناسب اطمینان حاصل کرد.

نقش کاربران در محیط واقعیت مجازی

همان‌طور که بیان شد، بررسی ابعاد گوناگون کاربران ازجمله موارد مؤثر در ایجاد یک محیط واقعیت مجازی تعاملی است. طیف وسیعی از کاربران را می‌توان با توجه به زمینه‌های استفاده از فناوری واقعیت مجازی که پیش‌تر بیان شد را مثال زد، باید همواره توجه داشت که بررسی و تجزیه تحلیل مؤلفه کاربر به‌تنهایی برای ایجاد بهترین محیط مجازی تعاملی کافی نیست اما از مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن است؛ بنابراین توجه به ویژگی‌های شخصی همانند سن، جنسیت، میزان تحصیلات، شغل و نظیر این موارد و همچنین توجه به میزان آشنایی کاربران با این فناوری بسیار مهم است (Kim et al., 2020).

جهت درک بهتر این موضوع و تأثیر مشخصات و ویژگی‌های کاربران در ایجاد محیط واقعیت مجازی تعاملی، می‌توان به پژوهش‌هایی در حوزه پزشکی و خصوصاً در عرصه توان‌بخشی اشاره کرد. هدف نهایی این‌گونه مطالعات، تمرکز بر توان‌بخشی افراد با محدودیت‌ها و یا مشکلات جسمی است اما هر یک از کاربران در این‌گونه از پژوهش‌ها دارای ویژگی‌ها و مشکلات خاصی هستند. خاص بودن افراد هم ازنظر مشخصات فردی همانند سن و جنسیت و هم ازنظر نوع محدودیت و ویژگی‌های جسمی است. این مسئله سبب شده است که پژوهشگران با توجه به مشخصات و ویژگی‌های هر کاربر، الگوریتم مخصوصی را در محیط واقعیت مجازی پیاده‌سازی و در اختیار کاربر قرار دهند تا با ایجاد این تعامل نتیجه بهتری حاصل شود (Kober & Neuper, 2013).

به‌طورکلی موضوع و محدوده پژوهش مهم‌ترین مؤلفه در انتخاب جامعه آماری است. این جامعه آماری می‌بایست در هنگام استفاده از محیط واقعیت مجازی و بنا بر مسئله و موضوع پژوهش با آن تعامل برقرار کرده تا این محیط عملکرد درستی داشته باشد. گزاره ذکرشده کاربران و استفاده‌کنندگان از محیط واقعیت مجازی را به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌ها در

ایجاد محیط تعاملی معرفی می‌کند و عدم توجه به این مؤلفه می‌تواند علی‌رغم توجه به سایر مؤلفه‌های تأثیرگذار در ایجاد محیط تعاملی، روند پژوهش را مختل و نتایج را دگرگون سازد.

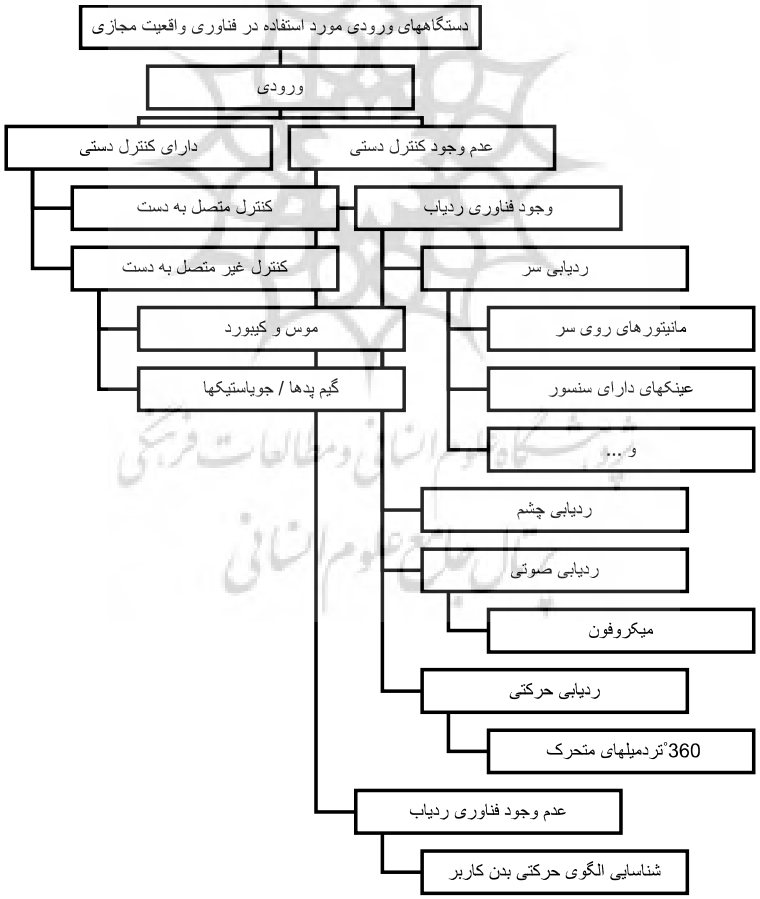
نقش دستگاه‌ها در محیط واقعیت مجازی

دستگاه‌های ورودی و خروجی دسته‌های اصلی سخت‌افزار سیستم واقعیت مجازی هستند (Li, Yi, Chi, Wang, & Chan, 2018; Zhang, 2017). منظور از دستگاه ورودی یعنی آن دسته از دستگاه‌هایی که سیگنال فیزیکی ارائه‌شده توسط کاربر را به‌صورت دیجیتالی به موتور محیط واقعیت مجازی می‌رساند و منظور از دستگاه خروجی این است که در پاسخ به اطلاعات جمع‌آوری‌شده (که در راستای سیگنال‌های ورودی است)، یک نتیجه را در اختیار کاربر قرار می‌دهد که این نتیجه می‌تواند به صورت‌های مختلفی اعم از دیداری، شنیداری و گفتاری تعریف شود (Hepperle et al., 2019; Narciso, Bessa, Melo, Coelho, & Vasconcelos-Raposo, 2019; Zhang, 2017). انتخاب و مهندسی دستگاه ورودی و خروجی امر بسیار مهمی در راستای ایجاد یک محیط تعاملی واقعیت مجازی دارد. این دستگاه‌ها به‌طورکلی به دودسته فاقد کنترل و دارای کنترل که در اختیار کاربران قرار می‌گیرد تقسیم می‌شوند و محققین و پژوهشگران بناتر نیاز و هدف می‌توان از بین آن‌ها بهترین ترکیب را انتخاب کرد (Hepperle et al., 2019; Oprea et al., 2019; J. Wang & Lindeman, 2015). قابلیت ردیابی[1] حرکات کاربر به جهت جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها اهمیت دارد. در پژوهشی برای به دست آوردن یک زمینه تعاملی یکپارچه، از یک سیستم مانیتور روی سر به همراه یک تبلت روی ساعد دست کاربران استفاده شد و کاربران می‌توانستند در محیط مجازی، از قابلیت‌هایی که تبلت در اختیار آن‌ها قرار داده بود استفاده کنند و این استفاده بر اساس ویژگی ردیابی فراهم‌شده بود. قابلیت ردیابی در دستگاه-های مورداستفاده به صورت‌های مختلفی می‌تواند اتخاذ شود مانند ردیابی از طریق سر، ردیابی از طریق چشم، ردیابی از طریق بدن، ردیابی از طریق صدا، ردیابی از طریق دست و ردیابی از طریق تردمیل (فضای منعطف حرکتی) (Kim et al., 2020; J. Wang & Lindeman, 2015). گاهی از این ردیاب‌ها به‌صورت ترکیبی نیز استفاده‌شده است به‌عنوان‌مثال چنانچه هدف مسیریابی و انتخاب مسیر باشد، ردیاب‌های سر، چشم و بدن به‌طور توأمان در جمع‌آوری اطلاعات از کاربران داخل محیط نقش دارند. انتخاب درست نوع دستگاه‌ها به کاربران اجازه می‌دهد تا تعاملی مثبت

[1] Tracking

با محیط داشته باشند، لذا انتخاب نامناسب دستگاه می‌تواند علی‌رغم تولید محیط واقعیت مجازی مناسب با ویژگی‌های موردنظر (جهت دستیابی به هدف پژوهش)، کاربران را در ایجاد تعامل مثبت با محیط دچار مشکل کند و درنهایت به دلیل عدم وجود یک تعامل مناسب، کاربران از این محیط رضایت کامل نداشته باشند (Feng et al., 2022).

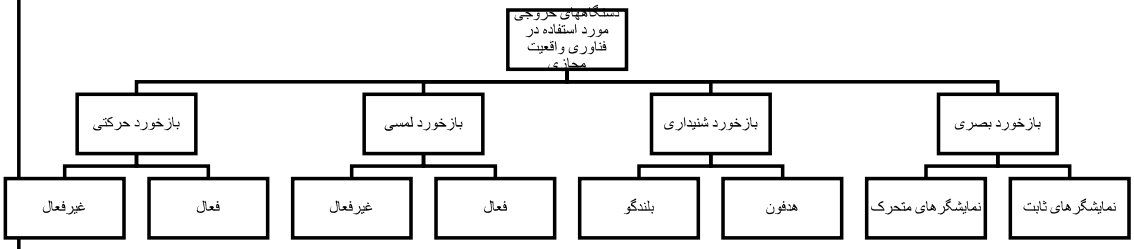
به‌طورکلی دستگاه‌های مورداستفاده در فناوری واقعیت مجازی به دودسته دستگاه‌های ورودی و خروجی تقسیم می‌شوند. در دسته‌بندی دستگاه‌های ورودی مطابق با شکل ، بر اساس وجود و یا عدم وجود کنترل دستی صورت گرفته است. برای یک دستگاه ورودی که از کنترل دستی بهره نمی‌برد، می‌توان از فناوری ردیابی که خود دارای انواع مختلفی است، جهت کنترل و حرکت استفاده می‌شود. در صورت عدم وجود فناوری ردیابی، توسط دستگاه‌هایی الگوی حرکتی کاربر شناسایی می‌شود و به‌عنوان سیگنال ورودی مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ همچنین در دستگاه‌هایی با ورودی دستی نیز بر اساس نوع کنترل‌کننده تقسیم‌بندی انجام‌شده است(Kim et al., 2020).



شکل ۲: برخی از انواع دستگاه‌های ورودی

دستگاه‌های خروجی را می‌توان مطابق با شکل10 بر اساس نشانه حسی طبقه‌بندی کرد. در میان نشانه‌های حسی، نشانه بصری اهمیت بسیاری دارد و می‌تواند به‌طور غالب بر ادراک کاربران در یک تجربه محیط واقعیت مجازی تأثیر بگذارد. در این راستا انواع نمایشگرهای بصری که در دسته‌بندی دستگاه‌های خروجی قرار می‌گیرند را می‌توان بر اساس ثابت بودن یا متحرک بودن آن‌ها به دودسته تقسیم. نوع ثابت این دستگاه‌ها مستقل از حرکت و یا وضعیت کاربران است و به‌طور مستقل مورداستفاده قرار می‌گیرد که به‌عنوان می‌توان نمایشگرهای معمولی را نام برد؛ همچنین وجود نمایشگرهای متعدد می‌توانند میدان دید وسیع‌تری را فراهم کند که خود در درک و ایجاد تعامل بیشتر مؤثر است. نوع دوم این دسته‌بندی برخلاف نوع اول کاملاً وابسته به حرکت کاربران است و بر اساس آن واکنش نشان می‌دهد. مانیتورهای روی سر در این دسته-بندی نیز جای می‌گیرند و توسط این ویژگی است که می‌توان سطح بالای غوطه‌وری را ایجاد کرد (Kageyama & Tomiyama, 2016; Muhanna A Muhanna, 2015). در ادامه بررسی نشانه‌های حسی، بازخورد شنیداری را می‌توان از طریق یک هدفون یا انواع بلندگو بررسی کرد و با توجه به ویژگی‌ها و مشخصات فنی هدفون‌ها و بلندگوها، سطح بازخوردها متفاوت خواهد بود و دستگاه‌هایی باقابلیت پخش استریو بازخورد بهتری را داشته‌اند (Kim et al., 2020). در ارتباط با بازخورد لمسی می‌توان این بازخورد را به دو نوع غیرفعال یا فعال تقسیم کرد لمس غیرفعال نشان‌دهنده بازخوردی است که از ساختارهای ساخته‌شده در دنیای واقعی در یک محیط واقعیت مجازی به دست می‌آید، درحالی‌که یک لمس فعال، بازخوردی است که از یک دستگاه لمسی دریافت می‌شود (مانند ویبره کردن و نظایر این مورد) (Jason Jerald, 2015). درنهایت خروجی حرکتی می‌تواند به تجربه همه‌جانبه کاربر در محیط واقعیت مجازی کمک کند. بازخورد حرکتی نیز به دو زیرمجموعه فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شود. حالت غیرفعال زمانی است که کاربر تحت تأثیر سیستم قرار می‌گیرد و حرکت فعال حالتی را تعریف می‌کند که کاربر به‌طور مستقیم از یک پلتفرم حرکتی استفاده می‌کند و در محیط حرکت می‌کند (Riecke, Schulte-Pelkum, Caniard, & Bulthoff, 2005).

شکل :10 برخی از انواع خروجی‌های دستگاه‌ها با توجه به سیگنال‌های دریافتی



شکل ۳: برخی از انواع خروجی‌های دستگاه‌ها با توجه به سیگنال‌های دریافتی

بر اساس توضیحات ذکرشده به‌طورکلی دستگاه‌ها می‌توانند نحوه ارتباط و تعامل با محیط واقعیت مجازی را مشخص کنند که البته مهندسی و انتخاب این دستگاه‌ها همانند انتخاب جامعه آماری بسته به موضوع و مسئله پژوهش دارد و الگوی ثابتی برای این مورد وجود ندارد. گرچه می‌توان شباهت‌هایی را در نوع انتخاب و مهندسی دستگاه‌ها در پژوهش‌های مشابه یافت اما با دقت در آن‌ها تفاوت‌هایی را نیز مشاهده می‌کنیم.

نقش فعالیت کاربر در محیط واقعیت مجازی

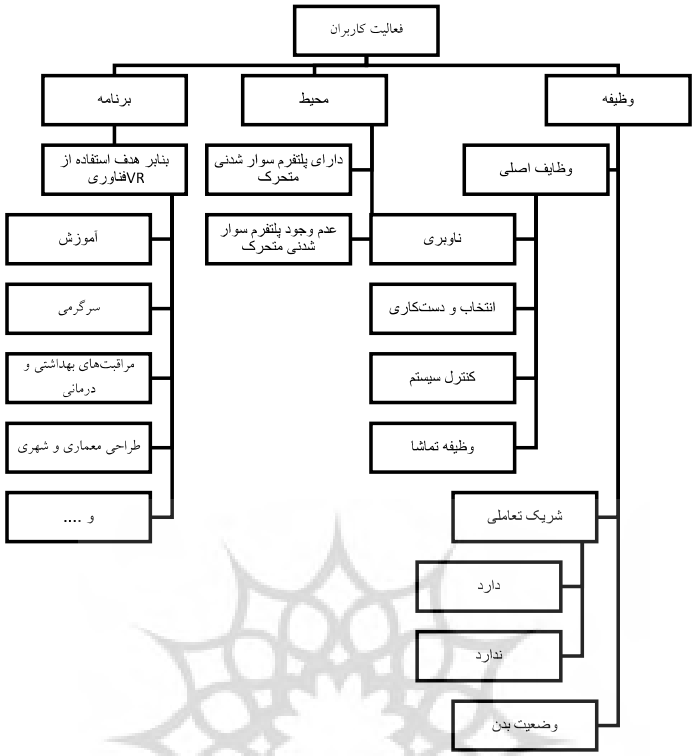
فعالیت کاربران به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در ایجاد محیط واقعیت مجازی تعاملی معرفی‌شده است. فعالیت کاربران همان‌گونه که در شکل ۱۱ نمایش داده‌شده است در ۳ سطح ۱- وظیفه، ۲- محیط و ۳- برنامه دسته‌بندی می‌شوند. در تعریف فعالیت کاربر و در زیرمجموعه وظیفه کاربر در محیط واقعیت مجازی می‌بایست سه حوزه: ۱- نوع وظیفه، ۲- شریک تعاملی و ۳- وضعیت بدن موردتوجه قرار بگیرد. در یک سیستم واقعیت مجازی، انواع وظایف اصلی که شامل تعامل سه‌بعدی هستند عبارت‌اند از ناوبری[1]، انتخاب و دست‌کاری[2]، کنترل سیستم[3] و وظیفه تماشا[4] (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2001; Reyes-Lecuona & Diaz-Estrella, 2006). ناوبری یک وظیفه اصلی است که در این سیستم‌ها ارزیابی می‌شود و می‌تواند در موقعیت‌هایی که آواتارها، اتومبیل‌ها یا هواپیماها و نظایر این موارد از سوی کاربر در حال کنترل و حرکت هستند، مورد ارزیابی قرار بگیرد. در بحث انتخاب و دست‌کاری یک شیء

[1] navigation
[2] selection & manipulation
[3] system control
[4] task of watching

مشخص، وظیفه کاربر ایجاد تغییر و یا جابجای کردن آن شیء در فضای واقعیت مجازی طبق وظیفه تعریف‌شده است. کنترل سیستم بر روی انتخاب قابلیت‌های تعریف‌شده از روی نوار فهرست مشخص‌شده در محیط مجازی متمرکز است. به‌عبارت‌دیگر بنا بر نوع دستگاه‌های ورودی و قابلیت‌های هر یک از آن‌ها، کاربر می‌تواند آن قابلیت‌های مشخص را کنترل و در شرایطی در میان آن‌ها انتخاب کند. درنهایت وظیفه تماشا که در بیشتر موارد یک عامل اصلی در محیط واقعیت مجازی است و برای کاربران به‌طور غیرارادی رخ می‌دهد. بااین‌حال باید توجه داشت که همواره انتخاب و مهندسی دستگاه‌های ورودی و خروجی می‌تواند میزان ارادی بودن و یا غیرارادی بودن این عمل را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان‌مثال در صورت استفاده از مانیتور روی سر، کاربران می‌توانند با کنترل دوربین مجازی توسط حرکات سر به‌طور ارادی کنترل بصری را استفاده کنند (Abich, Parker, Murphy, & Eudy, 2021; Koutsabasis & Vosinakis, 2018; Oprea et al., 2019). موضوع دیگری که می‌تواند وظیفه کاربر در محیط واقعیت مجازی را تحت تأثیر خود قرار دهد، شریک تعاملی است. شریک تعامل را می‌توان بسته به نوع ارتباط کاربر با فرد یا افراد دیگر حاضر در محیط طبقه‌بندی کرد. درر بیان این دسته‌بندی می‌توان این‌گونه بیان کرد که: ۱- چنانچه کاربر به‌تنهایی در محیط واقعیت مجازی باشد که در این صورت تعامل صرفاً میان کاربر و محیط واقعیت مجازی شکل‌گرفته است. ۲- درصورتی‌که چندین کاربر به‌صورت هم‌زمان از یک محیط واقعیت مجازی استفاده کنند و خود کاربران نیز ازنظر موقعیت مکانی در یک موقعیت مشترک قرارگرفته باشند و ۳- حالتی است که چندین کاربر در حال استفاده از یک محیط واقعیت مجازی باشند اما موقعیت‌های هر یک از کاربران متفاوت باشد. درنتیجه در بیان کلی‌تر وجود و یا عدم وجود شریک تعاملی می‌تواند عامل مؤثری در ایجاد یک محیط تعاملی باشد. علاوه بر توجه به مسئله وظیفه و زیرمجموعه‌های آن، محیط واقعی که میزبان محیط واقعیت مجازی است از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند میزان غوطه‌وری و درنهایت میزان تعامل را تحت تأثیر قرار دهد. محیط واقعی بنابراین موضوع که با چه پلتفرم و دستگاه-هایی مهندسی‌شده است می‌تواند در فعالیت کاربر مؤثر باشد. این محیط واقعی بنا به این موضوع که آیا دارای یک پلتفرم سواری[1] است یا خیر، طبقه‌بندی می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد استفاده از فناوری واقعیت مجازی در حوزه‌های گوناگون و جهت نیل به اهداف متفاوتی صورت می‌گیرد. در حال حاضر طبقه‌بندی رسمی در این حوزه موجود نیست اما از این فناوری در

[1] Riding platform

زمینه‌های آموزش، سرگرمی، مراقبت‌های بهداشتی و درمانی، طراحی معماری و شهری و ... استفاده می‌شود (Kim et al., 2020).



شکل ۱۱: فعالیت کاربران و عوامل موثر بر آن

درنهایت می‌توان بیان داشت که سناریو و وظیفه‌ای که کاربر در محیط واقعیت مجازی توسط دستگاه‌های موردنظر باید انجام بدهد از عوامل مؤثر در ایجاد محیط تعاملی است. انواع وظیفه و انواع محیط‌هایی که می‌توان جهت انجام‌وظیفه فراهم کرد وجود دارد که همانند انتخاب و مهندسی دستگاه‌ها الگوی مشخصی برای آن‌ها با توجه به موضوع پژوهش وجود ندارد. اما مطابق شکل ۱۱ هر یک از انواع این دسته‌بندی جهت پیشبرد نوع خاصی از پژوهش مناسب است و همچنین می‌توان بامطالعه نمونه‌های مشابه ایرادات و یا نواقص این مورد را در پژوهش‌های پیش‌رو برطرف کرد.

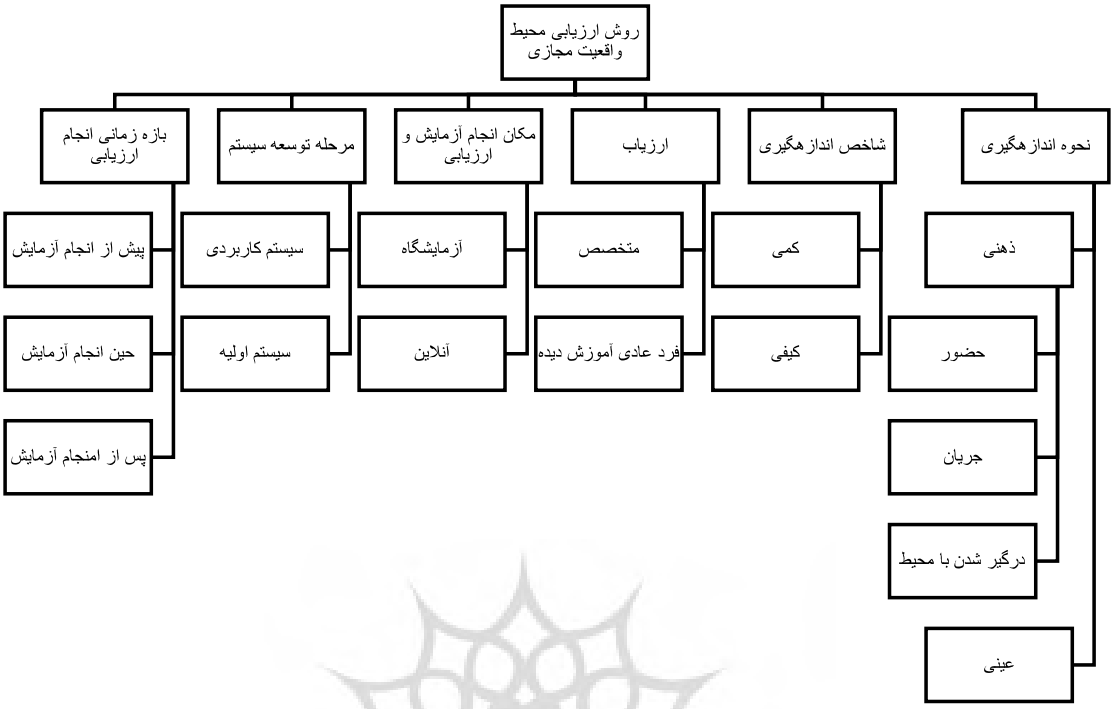
نقش روش ارزیابی در محیط واقعیت مجازی

روش ارزیابی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های ایجاد یک محیط واقعیت مجازی تعاملی شناخته می‌شود و مطابق با شکل ۱۲ عواملی بر روی آن تأثیرگذار هستند. پژوهش‌های بررسی‌شده نشان از تنوع روش‌های جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل می‌دهد. روش‌های کمی و کیفی مورداستفاده در این

سیستم این امکان را فراهم کرده تا متناسب باهدف، مسیر دست‌یابی به نتیجه را مهندسی کنیم (Howard, 2017; Schulze & Krömker, 2010; P. Wang et al., 2018). هنگام انجام ارزیابی محیط واقعیت مجازی، اتخاذ یک روش ارزیابی مناسب و درک ویژگی‌های آن محیط دارای اهمیت است (Hartson & Pyla, 2012). نحوه اندازه‌گیری، شاخص اندازه‌گیری، شخص ارزیاب، مکان انجام آزمایش و ارزیابی، مرحله توسعه سیستم و بازه زمانی به‌عنوان ویژگی‌های اصلی ارزیابی محیط واقعیت مجازی انتخاب می‌شوند. به‌طورکلی نوع اندازه‌گیری را می‌توان به دو گروه ذهنی یا عینی طبقه‌بندی کرد.

در یک سیستم واقعیت مجازی ارزیابی مؤلفه‌های حضور[1]، جریان[2] و میزان درگیر شدن با محیط[3] به‌صورت ذهنی انجام می‌شود که مستلزم صرف زمان بیشتری به نسبت ارزیابی عینی است؛ همچنین در ارزیابی عینی میزان خطا به نسبت ارزیابی ذهنی کمتر است. همان‌طور که بیان شد، داده‌ها را می‌توان به دو صورت کمی و کیفی جمع‌آوری و طبقه‌بندی کرد. در روش‌های جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت کیفی می‌توان به مصاحبه متمرکز گروهی[4]، تفکر با صدای بلند[5] و مصاحبه عمیق[6] اشاره کرد و برای جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت کمی می‌توان از پرسشنامه و سیگنال‌های فیزیولوژیکی[7] استفاده کرد. ارزیاب به شخصی اطلاق می‌شود که محیط واقعیت مجازی و تجربه کاربر در آن را ارزیابی کرده است که می‌تواند یک متخصص و یا یک فرد بدون تخصص و صرفاً آموزش‌دیده باشد. علاوه بر این، در ارتباط با محیط ارزیابی یک محیط واقعیت مجازی می‌توان پلتفرم‌های گوناگونی مانند محیط‌های آزمایشگاهی و یا حتی به‌صورت آنلاین را متصور شد. در ارتباط با توسعه سیستم در ابتدا می‌بایست سیستم‌های کاربردی و اولیه بررسی شوند. سیستم‌های کاملاً کاربردی به این معنی است که همه دستگاه‌ها و محتوای مورداستفاده در سیستم واقعیت مجازی تجاری‌سازی شده و در دسترس عموم باشد. هنگامی‌که دستگاه یا محتوای توسعه‌یافته توسط محققان در سیستم واقعیت مجازی اضافه می‌شود، به‌عنوان نمونه اولیه تعریف می‌شود. درنهایت دوره تجربه را می‌توان به‌عنوان قبل از استفاده، در حین استفاده، پس از استفاده طبقه‌بندی کرد (Roto, Law, Vermeeren, & Hoonhout, 2011).

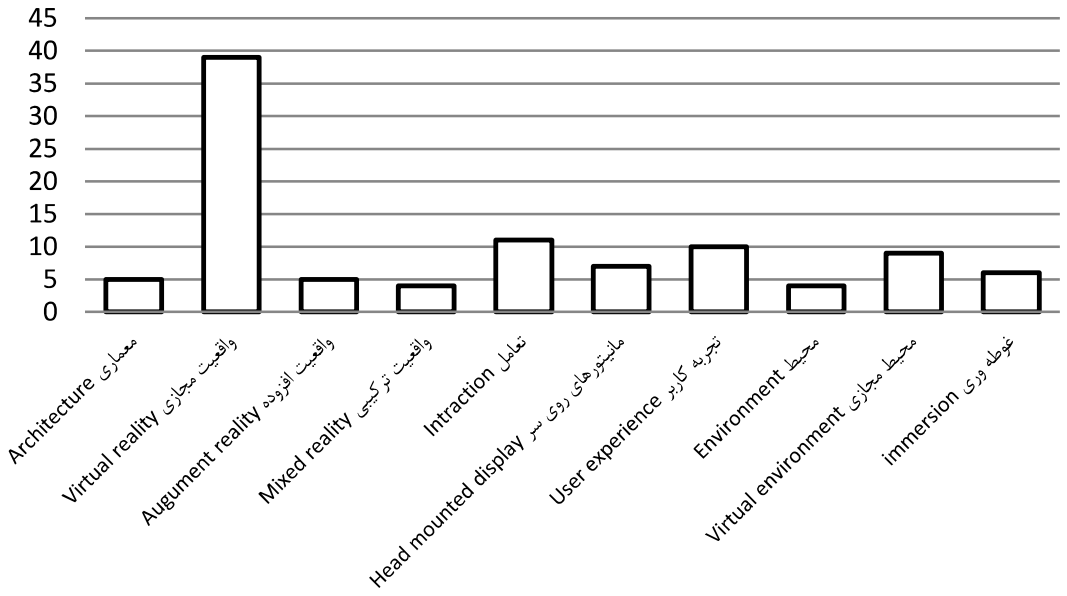
[1] Presence
[2] Flow
[3] Engagment
[4] Focus group interview
[5] Think-aloud
[6] Deep interview
[7] Physiological signals



شکل ۱۲: روش‌های ارزیابی محیط واقعیت مجازی و عوامل موثر بر آن

روش پژوهش

این پژوهش به روش فراتحلیل انجام‌شده است که به معنای بررسی جامع حوزه‌ای خاص مبتنی بر پروتکل‌های تعریف‌شده جهت گزینش داده‌ها و ترکیب داده‌های جمع‌آوری‌شده مرتبط با آن حوزه تخصصی است. این روش معمولاً توسط کارشناسان آن حوزه موردبررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش جمع‌آوری مطالب از طریق کتابخانه‌ای صورت گرفته است. روند انجام این پژوهش در ابتدا با مشخص شدن حوزه کلی این پژوهش که «تعامل کاربر در محیط واقعیت مجازی» است آغاز و تعداد ۷۵ پژوهش در همین حوزه با استفاده از کلیدواژه‌ها و منبع‌شناسی مقالات معتبر جمع‌آوری شد. در انتخاب پژوهش‌های جمع‌آوری‌شده برای بررسی و تحلیل نهایی، تعداد ۴۸ پژوهش حذف شد و درنهایت ۳۹ پژوهش موردبحث قرار گرفت. بیشترین تعداد کلیدواژه مشترک در میان مقالات یافت شده برای این پژوهش طبق نمودار است و در کل تعداد ۲۴۹ کلیدواژه در مقالات بررسی شد.

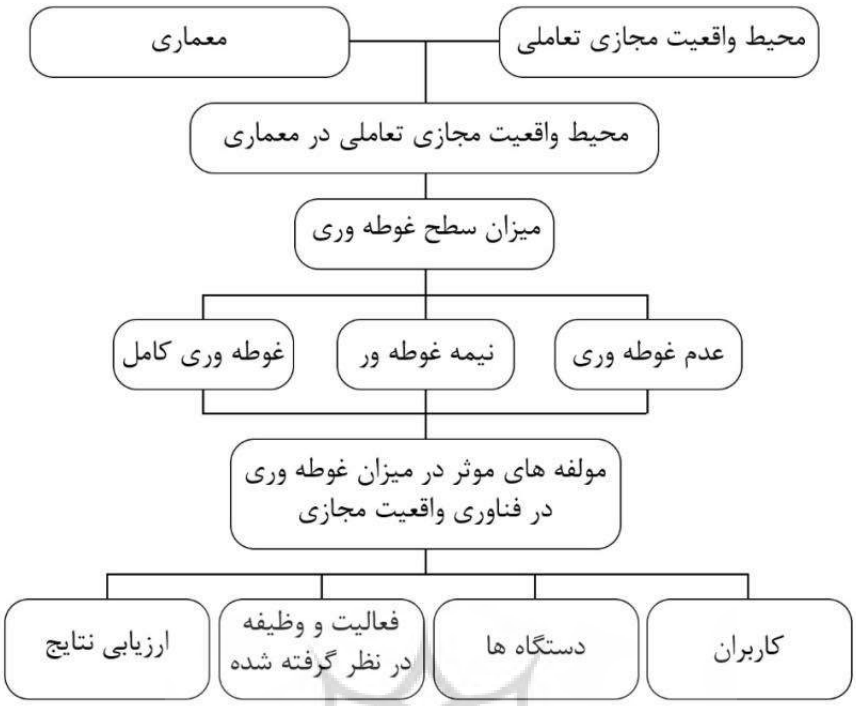


نمودار ۱. پرتکرارترین کلمات کلیدی در پژوهش‌های موردبررسی

جهت بررسی، مقالات ۴۳ نشریه معتبر موردبررسی قرار گرفت. نحوه انتخاب ۳۹ مقاله موردبحث بر اساس حوزه پژوهشی است و مقالاتی که بر روی تعامل کاربران در سیستم واقعیت مجازی در حوزه‌های متفاوت مطالعه و پژوهش انجام داده بودند، موردبررسی قرارگرفته است.

پس از بررسی و مرور مقالات منتخب و جمع‌بندی آن‌ها، یافته‌های این فراتحلیل به‌دست‌آمده و بر طبق این یافته‌ها تلاش جهت ارتباط آن‌ها با حوزه معماری به شیوه تحلیلی شده است. درشکل ۱۳ روند و مسیر پیشبرد پژوهش در قالب چارچوب نظری پژوهش بیان‌شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۳: چارچوب نظری پژوهش

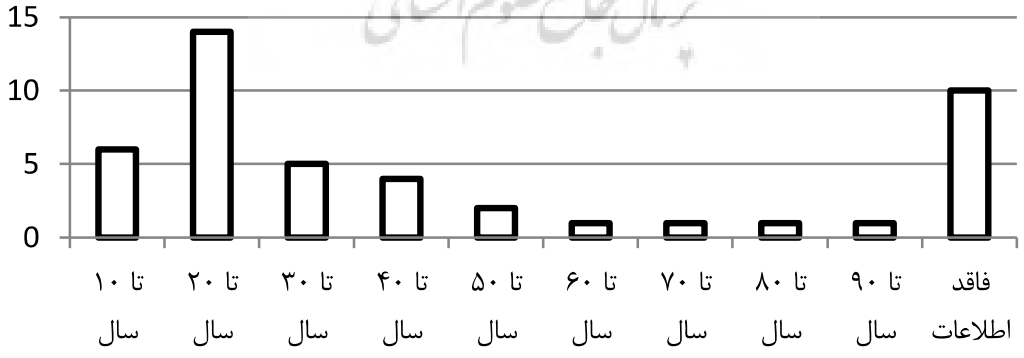
نحوه گزینش پژوهش‌ها

جهت گزینش مقالات برای بررسی نهایی و پیشبرد پژوهش، فیلترهای متفاوتی اعمال شد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. فقط مقالات مجلات و برخی کتاب‌های پیشرو در مبانی نظری این حوزه که به زبان انگلیسی هستند برای مرور انتخاب شدند و گزارش‌های کوتاه، اخبار و پایان‌نامه‌ها وارد منابع نشدند. همچنین بر اساس بررسی اعتبار مقالات، تکراری بودن عنوان آن‌ها و دور بودن موضوع منبع از حوزه مطالعاتی این پژوهش انتخاب نهایی مقالات انجام‌شده است. پژوهش‌هایی در ارتباط با محیط واقعیت مجازی بر اساس کلیدواژه‌های «واقعیت مجازی»، «محیط مجازی»، «VR»، «تجربه کاربر»، «UX» و «تعامل با کاربران» جست‌وجو شده و در حوزه‌های گوناگونی ازجمله پزشکی، طراحی، آموزش، نگهداری و ...، مقالاتی یافت شده است. روش تحقیق‌های متفاوتی در این مقالات وجود داشت ازجمله: توصیفی-تحلیلی، مروری، فراتحلیل و ... که متشکل از روش‌های کمی و کیفی بوده‌اند. برخی از پایگاه‌های داده که جهت جمع‌آوری پژوهش‌ها از آن‌ها استفاده‌شده است عبارت‌اند از: Scopus، Web of Science، Science direct، IEEE Explore، EBSCO، ProQuest و ... که همگی این مقالات دارای نمایه‌های Scopus، ISI، Master Journal List و یا DOAJ می‌باشند.

یافته‌ها

تأثیر کاربران در ایجاد تعامل در محیط واقعیت مجازی

در پژوهش‌های بررسی‌شده، طیف سنی جامعه نمونه از ۱۰ الی ۹۰ سال بوده است که بیشترین پژوهش‌ها بر روی طیف سنی ۱۰ الی ۲۰ سال صورت گرفته است (نمودار)، البته لازم به ذکر است که برخی از پژوهش‌ها به دلیل عدم ثبت مؤلفه سن که مطابق با شکل از زیرمجموعه‌های اطلاعات کاربران و مشخصات شخصی کاربران است، اطلاعاتی از این مؤلفه در دسترس نیست؛ بنابراین این پژوهش‌ها در آمار نهایی نمودار در ستونی تحت عنوان فاقد اطلاعات آورده شده است. نکته جالبی که در پژوهش‌ها مشخص شد، استفاده از جوامع آماری با بازه‌های سنی متفاوت است و به همین جهت مجموع آمار ارائه‌شده در نمودار از مجموع مقالات بیشتر است. همچنین ازنظر ویژگی‌های جسمی، بیشتر نمونه‌های مورد آزمایش دارای سلامت جسمی کامل بودند و تعداد کمی از آن‌ها دارای مشکلات حرکتی بودند که به‌واسطه‌ی هدف تحقیق از این جامعه نمونه استفاده‌شده بود که این به دلیل گستردگی کاربرد سیستم واقعیت مجازی در حوزه‌های مختلف است، بنابراین کاربران متفاوتی در جهت هدف پژوهش انتخاب‌شده بودند. نکته‌ای که در ارتباط با جوامع آماری با رنج‌های سنی بالای کاربران آن وجود دارد، استفاده از این جوامع آماری در حوزه پزشکی خصوصاً بازیابی توان حرکتی و یا تلاش جهت بهبود عملکرد بدن در پاسخ به محرک‌ها و مواردی از این نظیر بوده است. گرچه ذکر این نکته لازم است که به‌هیچ‌عنوان محدودیتی برای انتخاب جوامع آماری با رنج-های سنی بالا در حوزه‌های دیگر در موارد موردبررسی یافت نشد و انتخاب جامعه آماری و مشخص کردن رنج سنی موردنیاز در استفاده از فناوری واقعیت مجازی دارای محدودیت نیست و بنا به نظر پژوهشگر و ماهیت پژوهش است.



نمودار ۲. تعداد پژوهش‌ها در بازه سنی متفاوت

تأثیر دستگاه‌ها در ایجاد تعامل در محیط واقعیت مجازی

انواع دستگاه‌های ورودی ازنظر وجود و یا عدم وجود کنترل دستی در پژوهش‌های موردبررسی در نمودار آمده است. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد مهندسی دستگاه‌ها یکی از اقدامات مؤثر در پیشبرد روند پژوهش است و با توجه به این مسئله در برخی از پژوهش‌ها از هردو نوع دستگاه دارای کنترل دستی و عدم وجود کنترل دستی به‌عنوان دستگاه‌های ورودی استفاده‌شده است.

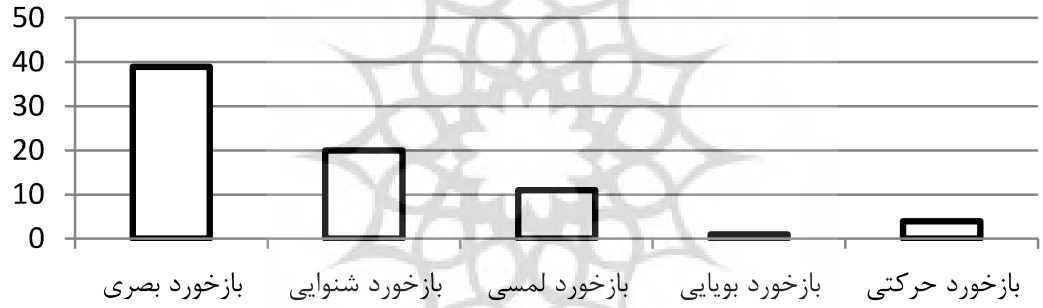
در پژوهش‌هایی که استفاده از دستگاه‌های ورودی بدون کنترل دستی اتخاذشده بود و یا به‌عنوان بخشی از فرایند پژوهش در نظر گرفته‌شده بود، روش ردیابی سر بیشترین انتخاب را جهت اعمال کنترل کاربر در محیط واقعیت مجازی داشته است؛ همچنین علاوه بر ردیابی سر سایر روش‌های ردیابی برای تشخیص حرکات خاص بدن یا ردیابی مسیر حرکت استفاده‌شده‌اند مانند راه رفتن (Monteiro, Carvalho, Melo, Branco, & Bessa, 2018) آنالیز و اعمال تغییرات با توجه به وضعیت بدن (Brade et al., 2017; Lin, Breugelmans, Iversen, & Schmidt, 2017)، استفاده از ردیاب چشمی (Vinnikov, Allison, & Fernandes, 2017)، ردیابی صدا که طی پژوهشی مشخص شد وجود این نوع از ردیابی تعامل بیشتری بین کاربر و محیط مجازی شکل می‌دهد (Pick, Weyers, Hentschel, & Kuhlen, 2016) و حس‌گرهای حساس به فشار روی حس‌گرهای دستگاه‌هایی همانند تردمیل تمام جهت[1] (Monteiro et al., 2018; Turchet, Burelli, & Serafin, 2013).

نمودار ۳. نوع دستگاه‌های ورودی مورداستفاده

در ارتباط با دستگاه‌های خروجی نیز بر اساس نمودار ، بازخورد بصری بیشترین استفاده را داشته است. پس از بازخورد بصری بیشترین فراوانی در ارتباط با بازخورد لمسی بوده است که برخی از پژوهش‌ها جهت شبیه‌سازی واقعیت در محیط واقعیت مجازی از شبیه‌سازی جریان هوا

[1] VirtuSphere

برای کاربران خود استفاده کرده‌اند و یا با ایجاد لرزش‌هایی سعی در شبیه‌سازی ابعاد بیشتری از وقایع رخ‌داده در محیط واقعیت مجازی در محیط واقعی داشته‌اند (Culbertson & Kuchenbecker, 2017; de Jesus Oliveira, Nedel, & Maciel, 2018; Zhang, 2017). در بحث شبیه‌سازی ابعاد بیشتر برای کاربران به جهت افزایش حس حضور آن‌ها در محیط واقعیت مجازی، بازخورد بویایی نیز مؤثر عمل می‌کند اما این مورد در پژوهش‌های اندکی استفاده‌شده است اما تأثیر آن بر مؤلفه حس حضور بسیار بالا و مؤثر گزارش‌شده است (Baus & Bouchard, 2017; Kim et al., 2020). استفاده از خروجی‌های حرکتی همانند پلتفرم‌های حرکتی در محیط واقعی باقابلیت شبیه‌سازی حرکت در محیط واقعیت مجازی نیز به‌عنوان دستگاه‌های خروجی در جهت تلاش برای ایجاد یک محیط تعاملی واقعیت مجازی در پژوهش‌ها مورداستفاده قرارگرفته است (Bian et al., 2016; Monteiro et al., 2018; Pedroli et al., 2018).

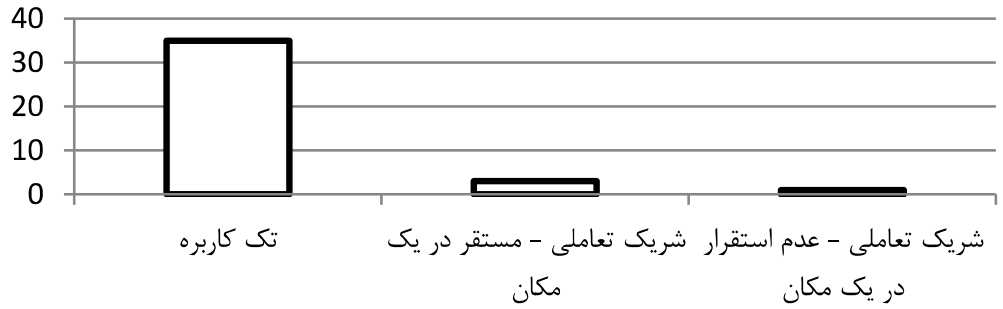


نمودار ۴. نوع بازخوردهای خروجی

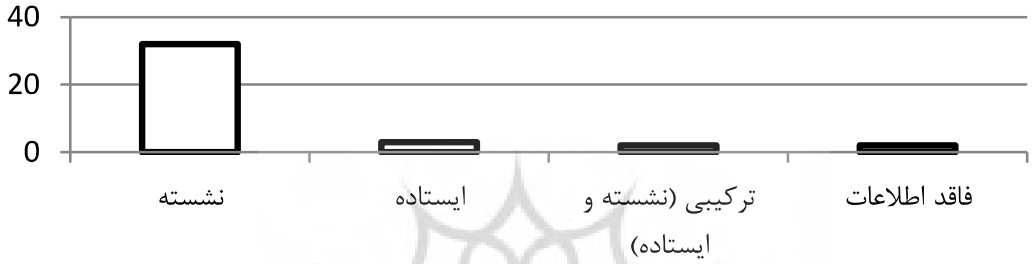
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تأثیر فعالیت کاربر در ایجاد تعامل در محیط واقعیت مجازی

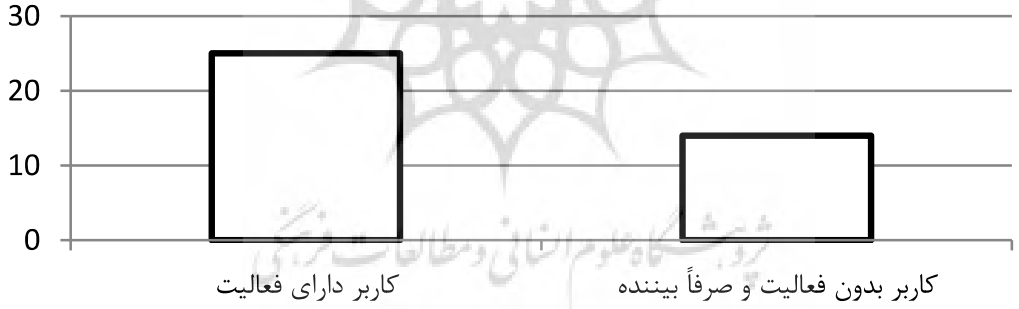
نمودار ، نمودار و نمودار طبقه‌بندی را بر اساس فعالیت کاربر ازجمله شریک تعامل، وضعیت بدن و وظیفه نشان می‌دهد. بیشتر فعالیت کاربران در مرور پژوهش‌های به‌صورت تک کاربر بوده است. گرچه چند نمونه نیز کاربران با تعامل با یکدیگر یک وظیفه مشخص را انجام و یا یک وضعیت مشخص‌شده را تجربه کردند. نکته مهم در فعالیت کاربران، وضعیت آن‌ها است و هنگامی‌که کاربران در حالت ایستاده از سیستم واقعیت مجازی استفاده می‌کردند، آزادی عمل و درک بهتر و بیشتری از محیط داشتند (Anton, Kurillo, & Bajcsy, 2018; de Jesus Oliveira et al., 2018; Oprean, Simpson, & Klippel, 2017).



نمودار ۵. وضعیت و تعداد کاربر در محیط واقعیت مجازی پژوهش‌های موردبررسی



نمودار ۶. وضعیت قرارگیری کاربران در پژوهش‌های موردبررسی



نمودار ۷. وضعیت فعالیت کاربران در پژوهش‌های موردبررسی

موارد کاربردهای سیستم واقعیت مجازی در پژوهش‌های موردبحث طبق نمودار که پرکاربردترین آن‌ها را به نمایش می‌گذارد، عبارت است از: ۱- آموزشی، ۲- مراقبت‌های بهداشتی و درمانی، ۳- ارتباطات، ۴- سرگرمی، ۵-توسعه محصول، ۶- طراحی معماری و شهری، ۷- حمل‌ونقل، ۸- دیجیتال بازاریابی، ۹- هنر، ۱۰- جنگلداری و ۱۱- نمایشگاه و تور.

نمودار ۸. برخی از پرکاربردترین فعالیت‌های بررسی‌شده در پژوهش‌ها

تأثیر روش ارزیابی در ایجاد تعامل در محیط واقعیت مجازی

در ویژگی‌های اندازه‌گیری، بیشتر موارد از اندازه‌گیری‌های ذهنی و عینی استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که تنها در دو مورد از اندازه‌گیری عینی استفاده‌شده است و به‌عبارت‌دیگر در اکثر مطالعات اندازه‌گیری‌های ذهنی مورد ارزیابی قرارگرفته است. این نتیجه نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات احساساتی مانند حس حضور و غوطه‌ور شدن را ارزیابی می‌کنند که یک سیستم واقعیت مجازی به دنبال آن است تا به کاربران این مؤلفه‌ها را ارائه کند. در ارتباط با روش اتخاذشده ازنظر کمی و کیفی نیز روش‌های کمی بیشتر اتخاذشده است و اغلب از پرسشنامه استفاده‌شده است. در ارتباط با مکان انجام آزمایش نیز آزمایشگاه‌ها پرکاربردترین مکان آزمایشی محیط واقعیت مجازی بوده‌اند.

در ارتباط با مرحله توسعه نیز بیشتر سیستم‌های واقعیت مجازی نمونه‌های اولیه کاربردی بودند که بر اساس پژوهش مهندسی‌شده‌اند. گرچه آزمایش‌هایی نیز وجود داشت که هم از محتوا و هم از دستگاه‌هایی استفاده می‌کرد که تجاری‌سازی شده بودند. در مورد دوره تجربه، هیچ موردی وجود نداشت که ارزیابی را پیش و یا در حین انجام آزمایش انجام دهد و تمام ارزیابی‌ها پس از انجام آزمایش بوده است. این مسئله نشان می‌دهد که تجربه کاربران از محیط واقعیت مجازی همواره به‌طورکلی پس از اتمام کار و وظایف محول شده ارزیابی می‌شود.

نتیجه‌گیری

این مقاله یک مرور فراتحلیلی را بر روی سیستم‌های واقعیت مجازی و زمینه‌های مورداستفاده از آن ارائه داده و سعی بر ایجاد ارتباطی میان این سیستم و فهم مؤلفه‌هایی برای تعامل با آن و ارتباط با علم معماری داشته است.

حوزه معماری که دارای زیرمجموعه‌های بسیاری در زمینه‌های گوناگون دانشگاهی، طراحی و اجرایی است پتانسیل بسیاری جهت استفاده از فناوری واقعیت مجازی و بهبود شرایط فعلی دارد. ازجمله این بهبودها می‌توان به صرفه‌جویی در زمان و منابع انسانی، صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت و صرفه‌جویی در مصرف مصالح و کاهش دورریز آن اشاره کرد. این فناوری در بخش دانشگاهی قادر خواهد بود تا پژوهش‌های این حوزه را قبل از ارائه به‌عنوان یک راهکار کاربردی موردسنجش قرار دهد و نتایج بسیار دقیق‌تری از فرضیه‌های مطرح‌شده ارائه کند.

این فناوری همچنین در حوزه طراحی و اجرا می‌تواند کمک بسیاری به گروه‌های طراحی کرده و با ایجاد یک ارتباط و تعامل گسترده میان مهندسین و سایر افراد دخیل درروند طراحی، قبل از اجرای طرح، بسیاری از موارد و مسائلی که در ترسیم فنی و دوبعدی و یا تصاویر سه‌بعدی ازنظر پنهان بوده است را نمایان کند تا پیش از اجرا بیشتر قسمت‌های یک پروژه موردبررسی و تحلیل قرار بگیرد و ایرادات احتمالی آن برطرف شود. همچنین میان ایجاد تعامل میان گروه‌های طراحی و مهندسی و مخاطبین و کارفرمایان می‌تواند به هر دو گروه دید بهتری از موضوع ارائه کند. تمامی موارد مطرح‌شده هنگامی بازده بالاتری دارد که به‌صورت تعاملی و در یک محیط واقعیت مجازی تعاملی ارائه شود.

جهت ایجاد یک محیط تعاملی در محیط واقعیت مجازی در حوزه معماری ابتدا مهم‌ترین وظیفه، مشخص کردن هدف استفاده از این فناوری است. پیروی هدف استفاده و در راستای آن توجیه رسیدن به آن هدف با استفاده از محیط واقعیت مجازی، انتخاب جامعه آماری و مهندسی دستگاه‌های مورداستفاده در محیط واقعیت مجازی و همچنین روش ارزیابی داده‌های حاصله مشخص می‌شود که هرکدام توضیحات مربوط به خود را دارا هستند.

در انتخاب جامعه آماری که همان مؤلفه‌ی کاربران محیط واقعیت مجازی هستند باید توجه داشت که هدف اصلی می‌بایست برای آن جامعه قابل‌درک و توجیه باشد که می‌توان با استفاده از متخصصین امر در حوزه معماری، قبل از ورود به محیط آزمایش، توضیحات کلی در راستای هدف پژوهش به کاربران ارائه شود. این مسئله منجر به ایجاد تعامل بیشتر کاربر با محیط واقعیت مجازی می‌شود چراکه کاربر آگاهانه‌تر به مسائل مطرح‌شده پرداخته و درنتیجه داده‌های حاصل‌شده، اعتبار بالاتری را پیدا خواهند کرد؛ همچنین انتخاب جامعه آماری هیچ‌گونه محدودیتی نداشته و صرفاً باید بر اساس هدف نهایی باشد؛ بنابراین فهم و درک کاربران از

فعالیت و یا وظایفی که در محیط واقعیت مجازی بر عهده آن‌ها است نیز می‌تواند برداشتن یک تعامل موفق میان کاربر و محیط تأثیرگذار باشد.

دستگاه‌ها و مهندسی دستگاه‌های مورداستفاده یک امر بسیار حساس و تأثیرگذار در ایجاد محیط واقعیت مجازی تعاملی است. انتخاب و مشخص کردن سطح غوطه‌وری و یا میزان حس حضور افراد به دستگاه‌های انتخابی وابستگی زیادی دارد. چنانچه هدف کار ارائه و نمایش نتیجه نهایی است می‌توان میزان این غوطه‌وری و حس حضور را در بالاترین حالت ممکن در نظر گرفت و هنگامی‌که مسائل فنی بدون نیاز به ایجاد حس حضور در فضا و یا درگیر شدن کاربر در فضا باشد، می‌توان از ساده‌ترین دستگاه‌ها که تجاری‌سازی شده و در دسترس عموم قرار دارد نیز استفاده کرد. بدیهی است که بیشترین میزان تعامل با محیط واقعیت مجازی هنگامی رخ خواهد داد که بالاترین میزان غوطه‌وری و حس حضور در محیط را به کاربران القاء شود که این مسئله با مهندسی درست دستگاه‌های ورودی و خروجی بسیار قابل‌کنترل است. هرچند این احتمال وجود دارد که به دلایل گوناگون امکان فراهم آوردن بهترین ترکیب دستگاه‌ها محیا نباشد که در این صورت پژوهشگران می‌توانند از روش‌های ترکیبی استفاده کنند تا کاربران بتوانند بهترین سطح ارتباطی با محیط واقعیت مجازی را داشته باشند.

فعالیت کاربران به‌عنوان یک مؤلفه در ایجاد محیط واقعیت مجازی تعاملی تأثیرگذار است. وظیفه‌ای که بنا بر هدف پژوهش به کاربر داده می‌شود، نحوه قرارگیری او در محیط واقعیت مجازی و همچنین تنها بودن و یا داشتن شریک در فرایند استفاده از محیط واقعیت مجازی می‌تواند درک کاربر را به نسبت محیط تحت تأثیر قرار دهد

در ارتباط با روش‌های ارزیابی نیز بنا به کمی بودن و یا کیفی بودن روش پژوهش، روش‌های گوناگونی اتخاذ می‌شود اما ارزیابی میزان تعامل در این فناوری به روش‌های کمی و ذهنی صورت می‌گیرد که پس از تجربه کاربر از محیط واقعیت مجازی ارزیابی می‌شود. چنانچه داده‌های این ارزیابی نشان از محیطی تعاملی نداشته باشد، محققین و یا ایجادکنندگان آن محیط می‌توانند با اعمال تغییراتی، محیط مورد آزمایش را در راستای ایجاد تعامل بهتر با کاربر بهبود ببخشند و مجدداً آن محیط را مورد ارزیابی قرار داده تا نتیجه مطلوب جهت تصمیم‌گیری نهایی حاصل شود. این موارد در راستای بهبود تعامل در محیط واقعیت مجازی است و چنانچه با توجه با ارزیابی‌های اولیه در راستای بهبود آن اقدامی صورت نگیرد، نتایج نهایی تعمیم‌پذیر و یا نتایج قاطعی نخواهند بود.

درنهایت بسته به‌تمامی موارد می‌بایست روش مناسبی جهت تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده اتخاذ شود. این مرحله با دستگاه‌ها و روش‌های مورداستفاده در جمع‌آوری داده‌ها مورد ارتباط تنگاتنگی دارد و در مواقعی که پژوهشگر از روش‌های ترکیبی استفاده می‌کند، این مرحله نیز دارای پیچیدگی‌های بیشتری در تحلیل داده‌ها خواهد شد.

در حوزه معماری زمینه‌های زیادی را می‌توان جهت کاربرد این فناوری نام برد که عبارت‌اند از: صنعت ساختمان، پژوهش، آموزش و نگهداری و ...؛ همچنین در حوزه‌های پژوهشی در موضوعات متفاوتی همچون مسیریابی، تورهای مجازی، شبیه‌سازی مدل پژوهشی و بازدید از آن و ... نیز کاربردهای فراوانی دارد. مؤلفه‌های ذکرشده می‌تواند در ایجاد تعامل بیشتر با این محیط مجازی ما را یاری کند؛ اما همچنان برخی زمینه‌های این فناوری همانند مهندسی چگونگی مهندسی و چیدمان دستگاه‌های ورودی و خروجی و یا افزایش ابعاد متفاوت جهت القاء محیط واقعی در یک محیط واقعیت مجازی نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

منابع

Abdelhameed, W. A. (2013). Virtual Reality Use in Architectural Design Studios: A case of studying structure and construction. *Procedia Computer Science, 25*, 220-230.

Abich, J., Parker, J., Murphy, J. S., & Eudy, M. (2021). A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. *Virtual Reality, 25*(4), 919-933. doi:10.1007/s10055-020-00498-8

Anton, D., Kurillo, G., & Bajcsy, R. (2018). User experience and interaction performance in 2D/3D telecollaboration. *Future Generation Computer Systems, 82*, 77-88. doi:https://doi.org/10.1016/j.future.2017.12.055

Baus, O., & Bouchard, S. (2017). Exposure to an unpleasant odour increases the sense of presence in virtual reality. *Virtual Reality, 21*, 59-74.

Bian, Y., Yang, C., Gao, F., Li ,H., Zhou, S., Li, H., . . . Meng, X. (2016). A framework for physiological indicators of flow in VR games: construction and preliminary evaluation. *Personal and Ubiquitous Computing, 20*, 821-832.

Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005 .(Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction, 14*(3), 287-295. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.012

Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J., Jr., & Poupyrev, I. (2001). An Introduction to 3–D User Interface Design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 10*(1), 96-108. doi:10.1162/105474601750182342

Brade, J., Lorenz, M., Busch, M., Hammer, N., Tscheligi, M., & Klimant, P. (2017). Being there again–Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user

experience using a mobile navigation task. *International Journal of Human-Computer Studies, 101*, 76-87.

Cobb, S. V. G., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISE). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8*(2), 169-186. doi:10.1162/105474699566152

Culbertson, H., & Kuchenbecker, K. J. (2017). Importance of Matching Physical Friction, Hardness, and Texture in Creating Realistic Haptic Virtual Surfaces. *IEEE Transactions on Haptics, 10*(1), 63-74. doi:10.1109/TOH.2016.2598751

de Jesus Oliveira, V. A., Nedel, L., & Maciel, A. (2018). Assessment of an articulatory interface for tactile intercommunication in immersive virtual environments. *Computers & Graphics, 76*, 18-28.

Feng, Y., Duives, D. C., & Hoogendoorn, S. P. (2022). Wayfinding behaviour in a multi-level building: A comparative study of HMD VR and Desktop VR. *Advanced Engineering Informatics, 51*, 101475. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei۲۰۲۱,۱۰۱۴۷۵.

Forlizzi, J., & Battarbee, K. (2004). *Understanding experience in interactive systems*. Paper presented at the Proceedings of the 5th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques, Cambridge, MA, USA. https://doi.org/10.1145/1013115.1013152

Hartson, R., & Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience*: Elsevier.

Hepperle, D., Weiß, Y., Siess, A., & Wölfel, M. (2019). 2D, 3D or speech? A case study on which user interface is preferable for what kind of object interaction in immersive virtual reality. *Computers & Graphics, 82*, 321-331. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.06.003

Howard, M. C. (2017). A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Computers in Human Behavior, 70*, 317-327. doi:https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.013

Jayaram, S., Connacher, H. I., & Lyons, K. W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *Computer-Aided Design* ,۲۹ (۸), ۵۷۵-۵۸۴ .doi:https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00094-2

Jerald, J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.

Jerald, J. (2018). Human-Centered VR Design: Five Essentials Every Engineer Needs to Know. *IEEE Computer Graphics and Applications, 38*(2), 15-21. doi:10.1109/MCG.2018.021951628

Kageyama, A., & Tomiyama, A. (2016). Visualization framework for CAVE virtual reality systems. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 7*(04), 1643001.

Kim, Y. M., Rhiu, I., & Yun, M. H. (2020). A Systematic Review of a Virtual Reality System from the Perspective of User Experience. *International Journal of Human–Computer Interaction, 36*(10), 893 .۹۱۰-doi:10.1080/10447318.2019.1699746

Kober, S. E., & Neuper, C. (2013). Personality and presence in virtual reality: Does their relationship depend on the used presence measure? *International Journal of Human-Computer Interaction, 29*(1), 13-25.

Koutsabasis, P., & Vosinakis, S. (2018). Kinesthetic interactions in museums: conveying cultural heritage by making use of ancient tools and (re-) constructing artworks. *Virtual Reality, 22*(2), 103-118. doi:10.1007/s10055-017-0325-0

Kozhevnikov, M., & Gurlitt, J .(۲۰۱۳) *Immersive and non-immersive virtual reality system to learn relative motion concepts.* Paper presented at the 2013 3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference.

Kyriakou, M., Pan, X., & Chrysanthou, Y. (2017). Interaction with virtual crowd in Immersive and semi-Immersive Virtual Reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds, 28*(5), e1729.

Li, X., Yi, W., Chi, H.-L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction, 86*, 150-162. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003

Lin, Y., Breugelmans, J., Iversen, M., & Schmidt, D. (2017). An Adaptive Interface Design (AID) for enhanced computer accessibility and rehabilitation. *International Journal of Human-Computer Studies, 98*, 14-23. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.09.012

Monteiro, P., Carvalho, D., Melo, M., Branco, F., & Bessa, M. (2018). Application of the steering law to virtual reality walking navigation interfaces. *Computers & Graphics, 77*, 80-87.

Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 27*(3), 344-361. doi:https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023

Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 27*(3), 344-361.

Narciso, D., Bessa, M., Melo, M., Coelho, A., & Vasconcelos-Raposo, J. (2019). Immersive 360 video user experience: impact of different variables in the sense of presence and cybersickness. *Universal Access in the Information Society, 18*(1), 77-87. doi:10.1007/s10209-017۵-۰۵۸۱-

Oprea, S., Martinez-Gonzalez, P., Garcia-Garcia, A., Castro-Vargas, J. A., Orts-Escolano, S., & Garcia-Rodriguez, J. (2019). A visually realistic grasping system for object manipulation and interaction in virtual reality environments. *Computers & Graphics, 83*, 77-86. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.07.003

Oprean, D., Simpson, M., & Klippel, A. (2017). Collaborating remotely: an evaluation of immersive capabilities on spatial experiences and team membership. *International Journal of Digital Earth, 11*, 1-17. doi:10.1080/17538947.2017.1381191

Pedroli, E., Greci, L., Colombo, D., Serino, S., Cipresso, P., Arlati, S., . . . Gaggioli, A. (2018). Characteristics, Usability, and Users Experience of a System Combining Cognitive and Physical Therapy in a Virtual Environment: Positive Bike. *Sensors, 18*(7), 2343.

Pick, S., Weyers, B., Hentschel, B., & Kuhlen, T. W. (2016). Design and Evaluation of Data Annotation Workflows for CAVE-like Virtual Environments. *IEEE Trans Vis Comput Graph, 22*(4), 1452-146 .\doi:10.1109/tvcg.2016.2518086

Portman, M. E., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems* ,۵۴ ,۳۷۶-۳۸۴. doi:https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001

Reyes-Lecuona, A., & Diaz-Estrella, A. (2006). *New interaction paradigms in virtual environments.* Paper presented at the MELECON 2006-2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference.

Riecke, B. E., Schulte-Pelkum, J., Caniard, F., & Bulthoff, H. H. (2005). *Towards lean and elegant self-motion simulation in virtual reality.* Paper presented at the IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.

Roto, V., Law, E., Vermeeren, A., & Hoonhout, J. (2011). *Bringing clarity to the concept of user experience.* Paper presented at the Result from Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience.

Safikhani, S., Keller, S., Schweiger, G., & Pirker, J. (2022). Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: systematic review. *International Journal of Digital Earth, 15*(1), 503-526. doi:10.1080/17538947.2022.2038291

Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M., & van der Mast, C. A. (2001). Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychol Behav, 4*(2), 183-201. doi:10.1089/109493101300117884

Schulze, K., & Krömker, H. (2010). *A framework to measure user experience of interactive online products*. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, Eindhoven, The Netherlands. https://doi.org/10.1145/1931344.1931358

Sidani, A., Dinis, F. M., Duarte, J., Sanhudo, L., Calvetti ,D., Baptista, J. S., . . . Soeiro, A. (2021). Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review. *Journal of Building Engineering, 42*, 102500.

Takatalo, J., Nyman, G., & Laaksonen, L. (2008). Components of human experience in virtual environments. *Computers in Human Behavior, 24*(1), 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.chb.2006.11.003

Thüring, M., & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology, 42* ,(۴) ۲۵۳-۲۶۴. doi:https://doi.org/10.1080/00207590701396674

Turchet, L., Burelli, P., & Serafin, S. (2013). Haptic Feedback for Enhancing Realism of Walking Simulations. *IEEE Transactions on Haptics, 6*(1), 35-45. doi:10.1109/TOH.2012.51

Tussyadiah, I. P ,.Wang, D., Jung, T. H., & tom Dieck, M. C. (2018). Virtual reality, presence, and attitude change: Empirical evidence from tourism. *Tourism Management, 66*, 140-154. doi:https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.12.003

Vinnikov, M., Allison, R. S., & Fernandes ,S. (2017). Gaze-contingent auditory displays for improved spatial attention in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 24*(3), 1-38.

Wang, J., & Lindeman, R. (2015). Coordinated hybrid virtual environments: Seamless interaction contexts for effective virtual reality. *Computers & Graphics, 48*, 71-83. doi:https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.02.007

Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., & Wang, X. (2018). A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(6), 1204.

Yung, R., & Khoo-Lattimore, C. (2017). New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism, 22*, 1-26. doi:10.1080/13683500.2017.1417359

Zhang, H. (2017). Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology, 27*(4), 717-722 . doi:https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی