

Designing Cognitive Restorative Spaces in the Metaverse: The Impact of Virtual Biophilic Architecture on Mental Fatigue Reduction and Attention Restoration (ART) in Hybrid Work Environments

1. Ali Eghbalinia¹*: Department of Architecture and Art, Farhangian University of Ilam Branch, Ilam, Iran.

*Corresponding Author's Email Address: Alieghbalinia@yahoo.com

How to Cite: Eghbalinia, A. (2025). Designing Cognitive Restorative Spaces in the Metaverse: The Impact of Virtual Biophilic Architecture on Mental Fatigue Reduction and Attention Restoration (ART) in Hybrid Work Environments. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 3(3), 1-13.

Abstract:

With the expansion of hybrid work models and the increasing reliance on digital interactions, mental fatigue and diminished attentional capacity have emerged as major challenges to workforce mental health. Attention Restoration Theory (ART) proposes that natural environments can facilitate the recovery of depleted cognitive resources. The objective of this study was to examine the effectiveness of biophilic architectural design in metaverse environments in reducing mental fatigue and restoring directed attention among employees in hybrid work settings. This quasi-experimental study was conducted with the participation of 60 remote employees assigned to three groups: a standard virtual work environment, a virtual environment with limited biophilic elements, and a fully immersive biophilic environment. Following the completion of a cognitively fatiguing task, participants were exposed to the designed metaverse environments for 15 minutes. Data were collected using the Attention Network Test (ANT) and the Mental Fatigue Scale questionnaire and were analyzed using analysis of variance (ANOVA). The results indicated that participants exposed to the fully immersive biophilic environment reported a statistically significant reduction in mental fatigue levels ($p < .05$). Furthermore, attention restoration scores in this group were significantly higher compared to both the control group and the limited-biophilic-elements group. Design component analysis demonstrated that the presence of dynamic elements, such as virtual water movement and simulated natural lighting, exerted the strongest influence on cognitive indicators. The integration of biophilic architectural principles into the design of metaverse workspaces can serve as an effective strategy for managing digital fatigue and enhancing cognitive health in hybrid work environments.

Keywords: Metaverse, Virtual Biophilic Architecture, Attention Restoration Theory (ART), Mental Fatigue, Hybrid Work Environments

Received: 24 June 2025

Revised: 12 November 2025

Accepted: 19 November 2025

Published: 11 December 2025



طراحی فضاهای ترمیمی شناختی در متاورس: تأثیر معماری بیوفیلیک مجازی بر کاهش خستگی ذهنی و بازیابی توجه (ART) در محیط‌های کار ترکیبی

۱. علی اقبالی نیا*^{id}: گروه معماری و هنر، دانشگاه فرهنگیان واحد ایلام، ایلام، ایران. (نویسنده مسئول)

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: Alieghbalinia@yahoo.com

نحوه استناددهی: اقبالی نیا، علی. (۱۴۰۴). طراحی فضاهای ترمیمی شناختی در متاورس: تأثیر معماری بیوفیلیک مجازی بر کاهش خستگی ذهنی و بازیابی توجه (ART) در محیط‌های کار ترکیبی. تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۳(۳)، ۱-۱۳.

چکیده

با گسترش مدل‌های کار ترکیبی و افزایش وابستگی به تعاملات دیجیتال، خستگی ذهنی و کاهش ظرفیت توجه به چالش‌های عمده سلامت روان نیروی کار تبدیل شده است. نظریه بازیابی توجه (ART) پیشنهاد می‌کند که محیط‌های طبیعی می‌توانند به بازیابی منابع شناختی کمک کنند. هدف این پژوهش، بررسی اثربخشی طراحی معماری بیوفیلیک در فضاهای متاورس بر کاهش خستگی ذهنی و بازیابی توجه متمرکز در کارکنان محیط‌های کار ترکیبی است. این مطالعه شبه‌آزمایشی با مشارکت ۶۰ نفر از کارکنان دورکار در سه گروه (محیط کار مجازی استاندارد، محیط مجازی با عناصر بیوفیلیک محدود، و محیط غوطه‌ور بیوفیلیک کامل) انجام شد. شرکت‌کنندگان پس از انجام یک وظیفه شناختی خسته‌کننده، به مدت ۱۵ دقیقه در محیط‌های متاورسی طراحی شده قرار گرفتند. داده‌ها با استفاده از آزمون شبکه توجه (ANT) و پرسشنامه مقیاس خستگی ذهنی جمع‌آوری و با آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) تحلیل شدند. نتایج نشان داد که گروه قرار گرفته در محیط غوطه‌ور بیوفیلیک، کاهش معناداری در سطح خستگی ذهنی گزارش کردند ($p < 0.05$). همچنین، نمرات بازیابی توجه در این گروه نسبت به گروه کنترل و گروه با عناصر محدود، به طور قابل توجهی بالاتر بود. تحلیل مولفه‌های طراحی نشان داد که وجود عناصر دینامیک (مانند حرکت آب و نور طبیعی مجازی) بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های شناختی داشته است. ادغام اصول معماری بیوفیلیک در طراحی فضاهای کار متاورس می‌تواند به عنوان یک استراتژی کارآمد برای مدیریت خستگی دیجیتال و ارتقای سلامت شناختی در محیط‌های کار ترکیبی عمل کند.

کلیدواژه‌گان: متاورس، معماری بیوفیلیک مجازی، نظریه بازیابی توجه (ART)، خستگی ذهنی، کار ترکیبی.

تاریخ دریافت: ۳ تیر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۲۱ آبان ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۸ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲۰ آذر ۱۴۰۴



در دهه گذشته، پارادایم‌های محیط کار با سرعتی بی‌سابقه تغییر کرده‌اند، تغییری که با همه‌گیری جهانی و پیشرفت فناوری‌های ارتباطی تسریع شده است. انتقال به مدل‌های کار ترکیبی، اگرچه انعطاف‌پذیری را افزایش داده، اما چالش‌های جدیدی را در زمینه سلامت روان و فرسودگی شناختی ایجاد کرده است. کارکنان امروزی با پدیده‌ای به نام "خستگی زوم" یا خستگی ناشی از تعاملات مداوم دیجیتال روبرو هستند که منجر به تخلیه منابع توجهی و کاهش بهره‌وری می‌شود. بر اساس مطالعات اخیر در حوزه ارگونومی شناختی، تعامل طولانی‌مدت با واسط‌های دوجبه‌ای و فقدان نشانه‌های محیطی غنی، بار شناختی اضافی را بر مغز تحمیل می‌کند. در این راستا، متاورس به عنوان نسل بعدی اینترنت و فضاها تعاملی سه‌بعدی، پتانسیل بالایی برای بازتعریف تجربه کاری دارد. با این حال، صرف انتقال دفتر کار فیزیکی به یک محیط مجازی بدون در نظر گرفتن اصول روانشناسی محیطی، ممکن است مشکلات موجود را تشدید کند. بنابراین، نیاز مبرمی به بررسی چگونگی طراحی این فضاها برای حمایت از رفاه شناختی وجود دارد. معماری این فضاها نباید تنها تقلیدی از واقعیت باشد، بلکه باید از قابلیت‌های منحصربه‌فرد واقعیت مجازی برای خلق محیط‌هایی فراتر از محدودیت‌های فیزیکی بهره‌بردار (1).

نظریه بازیابی توجه (ART) که توسط کاپلان و کاپلان در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح شد، چارچوب نظری قدرتمندی برای درک چگونگی تعامل انسان با محیط ارائه می‌دهد. این نظریه بیان می‌کند که توجه ارادی یا جهت‌دار، منبعی محدود است که در اثر استفاده مداوم دچار خستگی می‌شود. محیط‌های طبیعی به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی چون "شیفتگی نرم" (1)، "احساس رهایی" و "سازگاری"، بستر مناسبی برای بازیابی این منابع شناختی فراهم می‌کنند. در حالی که تأثیر طبیعت فیزیکی بر سلامت روان به طور گسترده مستند شده است، سوال اساسی این است که آیا بازنمایی‌های دیجیتال طبیعت یا همان "طبیعت مجازی" می‌تواند تأثیرات مشابهی داشته باشد؟ پژوهش‌های اولیه نشان داده‌اند که مغز انسان پاسخ‌های فیزیولوژیکی مشابهی به محرک‌های طبیعی مجازی و واقعی می‌دهد، مشروط بر اینکه سطح غوطه‌وری و کیفیت بصری بالا باشد. با ورود متاورس به عرصه کار، فرصتی بی‌نظیر برای ادغام عناصر بیوفیلیک (طبیعت‌دوستی) در طراحی فضاها کار مجازی فراهم شده است تا محیط‌هایی خلق شوند که نه تنها خستگی را کاهش دهند، بلکه به طور فعال به بازسازی تمرکز کمک کنند (2).

معماری بیوفیلیک به عنوان رویکردی در طراحی که انسان را با طبیعت پیوند می‌دهد، در فضاها فیزیکی اثربخشی خود را ثابت کرده است. عناصری مانند نور طبیعی، گیاهان، چشم‌اندازهای باز و مصالح طبیعی، استرس را کاهش داده و خلاقیت را افزایش می‌دهند. در بستر متاورس، طراحان با محدودیت‌های فیزیکی مانند نگهداری گیاهان، تغییرات آب و هوایی یا هزینه‌های ساخت روبرو نیستند. این آزادی عمل اجازه می‌دهد تا فضاها "فرا-طبیعی" طراحی شوند؛ مثلاً اتاق جلساتی که در جنگلی بارانی شناور است یا میز کاری که در کنار آبشاری مجازی قرار دارد. با این حال، چالش اصلی در ترجمه این اصول به زبان کدهای باینری و پیکسل‌ها نهفته است. طراحی بیوفیلیک مجازی باید فراتر از قرار دادن چند مدل سه‌بعدی درخت باشد؛ باید بتواند حس "حضور" را القا کند. مطالعات نشان می‌دهند که کیفیت بافت‌ها، شبیه‌سازی نور و سایه، و صدای فضایی نقش کلیدی در ایجاد تجربه حسی متقاعدکننده ایفا می‌کنند. عدم توجه به این جزئیات می‌تواند منجر به اثر "دره وهمی" شود که در آن محیط مصنوعی به جای آرامش، حس دافعه یا اضطراب ایجاد می‌کند (3).

¹ Soft Fascination

² Spatial Audio

محیط‌های کار ترکیبی فعلی اغلب فاقد فضاهای ترمیمی هستند. در دفاتر خانگی، مرز بین کار و زندگی محو شده و در دفاتر فیزیکی مدرن، فضاهای باز و پرسر و صدا تمرکز را دشوار می‌کنند. متاورس می‌تواند به عنوان لایه سوم محیط کار عمل کند؛ فضایی که نه کاملاً فیزیکی است و نه صرفاً یک صفحه نمایش تخت. طراحی فضاهای ترمیمی شناختی در متاورس می‌تواند به عنوان یک «پناهگاه دیجیتال» عمل کند که کارکنان در فواصل کاری برای چند دقیقه به آن مراجعه کنند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که حتی استراحت‌های کوتاه‌آدر محیط‌های مجازی بازسازی‌کننده، می‌تواند عملکرد شناختی را در وظایف بعدی به طور معناداری بهبود بخشد. این موضوع به ویژه برای کارهای دانش‌محور که نیاز به تمرکز پایدار و حل مسئله پیچیده دارند، حیاتی است. استفاده از واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR) در این زمینه، پتانسیل شخصی‌سازی محیط را نیز فراهم می‌کند؛ به طوری که هر فرد می‌تواند فضای ترمیمی متناسب با ترجیحات حسی و روانشناختی خود را داشته باشد (4).

با توجه به شکاف موجود در ادبیات پژوهشی در خصوص تقاطع معماری متاورس، روانشناسی محیطی و ارگونومی شناختی، این پژوهش بر آن است تا به صورت تجربی تأثیر طراحی بیوفیلیک مجازی را بسنجد. اکثر مطالعات پیشین بر واقعیت مجازی به عنوان ابزاری برای درمان فوبیا یا سرگرمی متمرکز بوده‌اند و کاربرد آن در بهبود کیفیت زندگی کاری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، درک دقیق اینکه کدام مولفه‌های طراحی بیوفیلیک (دیداری، شنیداری، یا حرکتی) بیشترین سهم را در فرآیند بازیابی توجه در محیط‌های دیجیتال دارند، هنوز مبهم است. شناخت دقیق‌تر این مکانیسم‌ها می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای معماران دیجیتال، مدیران منابع انسانی و توسعه‌دهندگان پلتفرم‌های متاورس باشد تا محیط‌های کاری آینده را نه فقط کارآمدتر، بلکه انسانی‌تر و سالم‌تر طراحی کنند. این پژوهش با تمرکز بر کارکنان دورکار در محیط‌های ترکیبی، تلاش می‌کند مدلی کاربردی برای ادغام سلامت شناختی در زیرساخت‌های متاورس ارائه دهد (5).

مبانی نظری تحقیق

نظریه بازیابی توجه که بنیان اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهد، بر دو نوع مکانیسم توجه در انسان تأکید دارد: توجه ارادی^۱ و توجه غیرارادی^۲. توجه ارادی که برای انجام وظایف کاری، حل مسئله و نادیده گرفتن عوامل مزاحم ضروری است، نیازمند صرف انرژی روانی است و ظرفیت محدودی دارد. هنگامی که این مخزن انرژی تخلیه می‌شود، فرد دچار خستگی توجه می‌شود که علائم آن شامل حواس‌پرتی، تحریک‌پذیری و ناتوانی در برنامه‌ریزی است. در مقابل، توجه غیرارادی زمانی فعال می‌شود که محرکی جذاب و جالب به طور خودکار توجه فرد را جلب می‌کند، بدون اینکه تلاشی نیاز باشد. کاپلان استدلال می‌کند که محیط‌های طبیعی با درگیر کردن توجه غیرارادی از طریق فرآیندی به نام «شیفتگی نرم»^۳، فرصتی برای استراحت و بازیابی سیستم توجه ارادی فراهم می‌کنند. در زمینه متاورس، شبیه‌سازی این ویژگی‌ها چالشی فنی و هنری است تا بتوان همان مکانیزم بیولوژیکی را در محیطی مصنوعی فعال کرد (2).

¹ Restorative Spaces

² Micro-breaks

³ Attention Restoration Theory - ART

⁴ Directed Attention

⁵ Involuntary Attention

فرضیه بیوفیلیا^۱ که توسط ادوارد او. ویلسون مطرح شد، بیان می‌کند که انسان‌ها تمایل ذاتی و ژنتیکی به ارتباط با طبیعت و سایر سیستم‌های زنده دارند. این نظریه ریشه در تکامل انسان دارد؛ اجداد ما میلیون‌ها سال در محیط‌های طبیعی زندگی کرده و بقای آن‌ها به توانایی درک نشانه‌های طبیعی وابسته بوده است. بنابراین، مشاهده آب، پوشش گیاهی و نور خورشید باعث ایجاد پاسخ‌های فیزیولوژیکی مثبت مانند کاهش فشار خون و سطح کورتیزول می‌شود. در طراحی معماری، رویکرد بیوفیلیک سعی دارد این ارتباط را در محیط‌های ساخته شده بازآفرینی کند. در فضای مجازی، اگرچه تعامل فیزیکی و بیوشیمیایی (مانند تنفس هوای پاک) وجود ندارد، اما «نشانه‌های ادراکی» می‌توانند مسیرهای عصبی مشابهی را فعال کنند. مطالعات علوم اعصاب نشان داده‌اند که قشر بینایی مغز در مواجهه با تصاویر طبیعت با کیفیت بالا، الگوهای فعالیتی مشابه با تجربه واقعی طبیعت نشان می‌دهد، که این امر پایه‌ای نظری برای اثربخشی «بیوفیلیای دیجیتال» فراهم می‌کند (6).

مفهوم «حضور»^۲ یا «تله‌پرزنس»^۳ در محیط‌های مجازی، کلید درک اثربخشی متاورس بر روان انسان است. حضور به معنای احساس ذهنی «بودن در آنجا» است، علی‌رغم اینکه فرد می‌داند در محیطی فیزیکی دیگری قرار دارد. اسلاتر^۴ حضور را به دو مولفه «توهم مکان»^۵ و «توهم بودن»^۶ تقسیم می‌کند. برای اینکه یک فضای ترمیمی در متاورس موثر واقع شود، کاربر باید سطح بالایی از حضور را تجربه کند تا سیستم شناختی او محیط مجازی را به عنوان یک واقعیت جایگزین بپذیرد و مکانیسم‌های ترمیمی فعال شوند. عواملی مانند نرخ فریم بالا، میدان دید وسیع، تعامل‌پذیری و کیفیت گرافیکی رئالیستی در افزایش حس حضور نقش دارند. معماری بیوفیلیک در متاورس با استفاده از بافت‌های پیچیده و ارگانیک، می‌تواند غنای حسی محیط را افزایش داده و در نتیجه حس حضور و تأثیرگذاری ترمیمی را تقویت کند (7).

تئوری بار شناختی^۷ نیز در طراحی فضاهای کار مجازی حائز اهمیت است. این تئوری بیان می‌کند که حافظه کاری ظرفیت محدودی برای پردازش اطلاعات دارد. محیط‌های کاری نامناسب، رابط‌های کاربری پیچیده و نویزهای بصری می‌توانند «بار شناختی بیرونی»^۸ را افزایش دهند که منجر به خستگی سریع‌تر می‌شود. در مقابل، طراحی مینیمالیستی و سازمان‌یافته با الهام از طبیعت، می‌تواند بار شناختی را کاهش دهد. در طراحی فضاهای متاورس، تعادل ظرفیتی باید برقرار شود؛ محیط نباید آنقدر ساده باشد که کسل‌کننده شود و نه آنقدر پیچیده که پردازش آن انرژی‌بر باشد. اصول بیوفیلیک مانند «پیچیدگی سازمان‌یافته»^۹ که در الگوهای فرکتالی برگ‌ها یا امواج آب دیده می‌شود، دقیقاً این تعادل را فراهم می‌کنند؛ آن‌ها برای ذهن جذاب هستند اما پردازش آن‌ها آسان و آرامش‌بخش است (8).

مدل فضای کار ترکیبی^{۱۰} و الزامات آن، بستر جدیدی برای کاربرد این نظریات ایجاد کرده است. در این مدل، کارکنان بین محیط فیزیکی و دیجیتال در نوسان هستند. این جابجایی مداوم زمینه‌ای^{۱۱} خود عامل مصرف انرژی شناختی است. فضاهای ترمیمی در متاورس می‌توانند به عنوان یک «فضای سوم» یا فضای گذار

¹ Biophilia Hypothesis

² Presence

³ Telepresence

⁴ Slater

⁵ Place Illusion

⁶ Plausibility Illusion

⁷ Cognitive Load Theory

⁸ Extraneous Cognitive Load

⁹ Organized Complexity

¹⁰ Hybrid Work Model

¹¹ Context Switching

عمل کنند که به ذهن کمک می‌کند تا بین حالت‌های مختلف کاری و استراحت سوئیچ کند. پژوهش‌های اخیر در حوزه "سایبر-روانشناسی" نشان می‌دهد که آواتارها و هویت دیجیتال نیز در این فرآیند نقش دارند. تجربه محیط بیوفیلیک از طریق یک آواتار، می‌تواند حس مالکیت و تعلق به فضای مجازی را افزایش دهد که خود عاملی موثر در کاهش استرس و بهبود رفاه روانی است. بنابراین، طراحی این فضاها باید با در نظر گرفتن تعامل متقابل انسان-کامپیوتر و روانشناسی محیطی به صورت یکپارچه انجام شود (1).

مبانی تجربی تحقیق

پژوهش‌های متعددی در سال‌های اخیر تلاش کرده‌اند تا تأثیر واقعیت مجازی (VR) را بر کاهش استرس و بازیابی توجه بسنجند. در یک مطالعه کلیدی توسط بین و همکاران (۲۰۲۰)، تأثیرات ترمیمی محیط‌های اداری بیوفیلیک مجازی در مقایسه با محیط‌های اداری معمولی بدون پنجره مورد بررسی قرار گرفت. شرکت‌کنندگان پس از انجام تست‌های استرس‌زا، با استفاده از هدست VR در یکی از این دو محیط قرار گرفتند. نتایج نشان داد که گروهی که در محیط بیوفیلیک مجازی بودند، بازگشت سریع‌تری به سطوح پایه ضربان قلب و هدایت الکتریکی پوست (GSR) داشتند. همچنین نمرات آن‌ها در آزمون‌های حافظه کوتاه‌مدت پس از تجربه VR بهبود معناداری یافت. این پژوهش نشان داد که حتی شبیه‌سازی‌های کوتاه‌مدت طبیعت می‌تواند پاسخ‌های فیزیولوژیکی و شناختی مثبتی ایجاد کند که با یافته‌های محیط‌های واقعی همسو است (5).

در مطالعه دیگری که توسط براونینگ و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، مقایسه‌ای بین تجربه طبیعت واقعی، طبیعت مجازی (VR) و تماشای ویدئوی طبیعت دو بعدی صورت گرفت. هدف این پژوهش بررسی این بود که آیا واقعیت مجازی می‌تواند جایگزین مناسبی برای دسترسی به طبیعت واقعی در محیط‌های کاری متراکم باشد. یافته‌ها حاکی از آن بود که اگرچه طبیعت واقعی بیشترین تأثیر را بر بهبود خلق و خو داشت، اما تجربه VR به طور قابل توجهی موثرتر از تماشای ویدئو بود و در برخی شاخص‌های بازیابی توجه، تفاوت معناداری با طبیعت واقعی نداشت. پژوهشگران نتیجه گرفتند که عنصر "غوطه‌وری" عامل تعیین‌کننده در اثربخشی فضاهای مجازی است و معماری بیوفیلیک در متاورس باید اولویت خود را بر خلق تجربه‌های فراگیر و چندحسی قرار دهد.

روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی و با روش شبه‌آزمایشی^۲ با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه کنترل انجام شده است. جامعه آماری شامل کارکنان شرکت‌های فناوری اطلاعات شهر تهران بود که حداقل ۳ روز در هفته به صورت دورکار فعالیت داشتند. با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس و غربالگری بر اساس معیارهای ورود (عدم سابقه بیماری صرع، بینایی نرمال یا اصلاح شده، و آشنایی نسبی با ابزارهای دیجیتال)، تعداد ۶۰ نفر انتخاب و به صورت تصادفی در سه گروه ۲۰ نفره جایگزین شدند: (۱) گروه آزمایش اول (محیط متاورس با طراحی بیوفیلیک کامل و غوطه‌ور)، (۲) گروه آزمایش دوم (محیط متاورس با عناصر بیوفیلیک محدود و استاتیک)، و (۳) گروه کنترل (محیط اداری مجازی استاندارد و بدون عناصر طبیعی).

¹ Immersion

² Quasi-experimental

ابزار گردآوری داده‌ها شامل دو بخش اصلی بود: الف) ابزارهای سنجش عینی عملکرد شناختی شامل آزمون شبکه توجه (ANT) برای اندازه‌گیری سه شبکه توجه (هشیاری، جهت‌گیری و کنترل اجرایی) که قبل و بعد از مداخله اجرا شد. ب) ابزارهای خودگزارش‌دهی شامل مقیاس خستگی ذهنی (MFS) برای سنجش میزان خستگی ادراک شده. مداخله بدین صورت بود که ابتدا تمامی شرکت‌کنندگان یک وظیفه شناختی خسته‌کننده (تست استروپ مداوم به مدت ۲۰ دقیقه) را انجام دادند تا سطح خستگی ذهنی آن‌ها افزایش یابد. سپس، هر گروه به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از هدست‌های VR (مدل ۲ Meta Quest) در محیط اختصاصی خود قرار گرفتند. محیط بیوفیلیک کامل شامل صدای سه بعدی آب، حرکت برگ درختان و نورپردازی دینامیک بود، در حالی که محیط‌های دیگر فاقد این پویایی بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده گردید. با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها، برای مقایسه میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون درون گروه‌ها از آزمون t همبسته و برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه^۱ و آزمون تعقیبی توکی^۲ استفاده شد. همچنین تحلیل کوواریانس^۳ برای کنترل اثر نمرات پیش‌آزمون بر نتایج پس‌آزمون به کار رفت تا تأثیر خالص مداخله محیطی بر بازیابی توجه مشخص شود.

یافته‌های تحقیق

یافته‌های توصیفی و استنباطی حاصل از تحلیل داده‌ها در قالب جداول زیر ارائه شده است. این جداول نشان‌دهنده تغییرات شاخص‌های توجه و خستگی در بین گروه‌های مختلف است.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار نمرات خستگی ذهنی (MFS) در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

| گروه | تعداد | میانگین پیش‌آزمون (انحراف معیار) | میانگین پس‌آزمون (انحراف معیار) | درصد تغییرات |
|-------------------------|-------|----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| بیوفیلیک کامل (غوطه‌ور) | ۲۰ | ۲۴.۵ (۳.۲) | ۱۲.۱ (۲.۸) | ۵۰.۶٪ کاهش |
| بیوفیلیک محدود | ۲۰ | ۲۵.۱ (۳.۵) | ۱۸.۴ (۳.۱) | ۲۶.۷٪ کاهش |
| کنترل (محیط استاندارد) | ۲۰ | ۲۴.۸ (۳.۱) | ۲۳.۲ (۲.۹) | ۶.۴٪ کاهش |

جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که در هر سه گروه میزان خستگی ذهنی پس از استراحت کاهش یافته است، اما این کاهش در گروه بیوفیلیک کامل بسیار چشمگیرتر است. در گروه کنترل، کاهش خستگی جزئی بوده که احتمالاً ناشی از توقف کار است، نه کیفیت محیط. گروه بیوفیلیک محدود نیز بهبودی متوسطی را نشان می‌دهد، اما گروهی که در محیط غنی از طبیعت مجازی بوده‌اند، تقریباً نیمی از خستگی ادراک شده خود را بازیابی کرده‌اند. این تفاوت آماری معنادار نشان‌دهنده اثربخشی عناصر طبیعی پویا بر حس ذهنی آرامش است.

¹ One-way ANOVA

² Tukey

³ ANCOVA

جدول ۲: نتایج آزمون شبکه توجه (ANT) - مولفه کنترل اجرایی (زمان واکنش به میلی ثانیه)

| گروه | میانگین پیش‌آزمون | میانگین پس‌آزمون | تفاوت میانگین | سطح معناداری (P-value) |
|----------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|
| بیوفیلیک کامل | ۱۴۵ ms | ۱۱۰ ms | -۳۵ ms | $0.001 >$ |
| بیوفیلیک محدود | ۱۴۸ ms | ۱۳۲ ms | -۱۶ ms | ۰.۰۴۵ |
| کنترل | ۱۴۴ ms | ۱۴۱ ms | -۳ ms | ۰.۶۲۱ (غیر معنادار) |

مولفه "کنترل اجرایی" در آزمون ANT نشان‌دهنده توانایی فرد در حل تضادهای شناختی و تمرکز است. کاهش زمان واکنش به معنای عملکرد بهتر است. طبق جدول ۲، گروه بیوفیلیک کامل بیشترین بهبود را در سرعت پردازش و دقت داشته‌اند (۳۵ میلی‌ثانیه کاهش زمان واکنش). این یافته تایید می‌کند که محیط بیوفیلیک متاورسی توانسته است منابع توجه ارادی را که در اثر خستگی تخلیه شده بودند، به طور موثری بازیابی کند. در گروه کنترل تغییر معناداری مشاهده نمی‌شود که نشان می‌دهد استراحت در محیط مجازی خشک و بی‌روح، به بازیابی ظرفیت‌های شناختی پیچیده کمکی نمی‌کند.

جدول ۳: مقایسه خطای انجام کار در آزمون توجه پس از مداخله (تعداد خطا)

| گروه | میانگین خطا | انحراف معیار | حداقل | حداکثر |
|----------------|-------------|--------------|-------|--------|
| بیوفیلیک کامل | ۱/۲ | ۰/۸ | ۰ | ۳ |
| بیوفیلیک محدود | ۳/۵ | ۱/۲ | ۱ | ۶ |
| کنترل | ۵/۸ | ۱/۹ | ۲ | ۱۰ |

جدول ۳ دقت عملکرد شرکت‌کنندگان را پس از تجربه محیط‌های مجازی نشان می‌دهد. تعداد خطاهای کمتر در گروه بیوفیلیک کامل (میانگین ۱.۲) نسبت به گروه کنترل (میانگین ۵.۸) نشان‌دهنده وضوح ذهنی بالاتر و تمرکز دقیق‌تر است. این تفاوت فاحش بیانگر آن است که کیفیت فضای استراحت در متاورس مستقیماً بر دقت عملکرد بعدی تاثیر می‌گذارد. محیط‌های غنی از طبیعت با کاهش نویزهای ذهنی، احتمال بروز خطا در پردازش اطلاعات را کاهش می‌دهند.

جدول ۴: نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقایسه اثربخشی گروه‌ها بر شاخص بازیابی کلی

| منبع تغییرات | مجموع مجذورات (SS) | درجه آزادی (df) | میانگین مجذورات (MS) | آماره F | سطح معناداری (Sig) |
|--------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------|--------------------|
| بین گروهی | ۴۵۲/۶ | ۲ | ۲۲۶/۳ | ۱۸/۴۵ | ۰/۰۰۰ |
| درون گروهی | ۶۹۸/۱ | ۵۷ | ۱۲/۲۵ | - | - |
| کل | ۱۱۵۰/۷ | ۵۹ | - | - | - |

نتایج آزمون ANOVA در جدول ۴ نشان می‌دهد که تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری کاملاً معنادار است ($F = 18.45$ و $p < 0.001$). این بدان معناست که نوع محیط مجازی که فرد در آن قرار می‌گیرد، عامل اصلی ایجاد تفاوت در میزان بازیابی توجه بوده است و این نتایج تصادفی نیستند. آزمون‌های تعقیبی نشان داد که اختلاف اصلی بین گروه "بیوفیلیک کامل" با دو گروه دیگر است، که بر اهمیت کیفیت بالای طراحی (رئالیسم، حرکت، صدا) در متاورس صحنه می‌گذارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که طراحی فضاهای ترمیمی در متاورس با استفاده از اصول معماری بیوفیلیک، تأثیر مثبت و معناداری بر کاهش خستگی ذهنی و بازیابی توجه کارکنان در محیط‌های کار ترکیبی دارد. یافته‌ها همسو با نظریه بازیابی توجه (ART) کاپلان است و نشان می‌دهد که «طبیعت مجازی» اگر با کیفیت غوطه‌وری بالا طراحی شود، می‌تواند ویژگی‌های «شیفتگی نرم» و «احساس رهایی» را بازسازی کند. برتری گروه بیوفیلیک کامل نسبت به گروه بیوفیلیک محدود نشان می‌دهد که صرف وجود عناصر سبز (مانند یک گل‌دان مجازی) کافی نیست؛ بلکه پویایی محیط، صدای محیطی و وسعت دیداری هستند که تجربه ترمیمی را رقم می‌زنند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های براونینگ و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد که بر اهمیت «حضور» در اثربخشی VR تأکید داشتند (4).

یکی از نکات قابل توجه در این مطالعه، بهبود عملکرد در مولفه «کنترل اجرایی» توجه بود. این مولفه برای وظایف پیچیده کاری مانند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی حیاتی است. این که یک استراحت ۱۵ دقیقه‌ای در محیط متاورسی توانسته است چنین بهبودی ایجاد کند، کاربرد عملی عظیمی برای سازمان‌ها دارد. در محیط‌های کار ترکیبی که کارکنان اغلب با جلسات آنلاین پیاپی و اعلان‌های دیجیتال بمباران می‌شوند، دسترسی به یک «پناهگاه شناختی» در متاورس می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریت انرژی عمل کند. این فضاها می‌توانند جایگزینی برای اتاق‌های استراحت فیزیکی باشند که در دورکاری در دسترس نیستند.

با این حال، این پژوهش محدودیت‌هایی نیز داشت. اولاً، نمونه آماری محدود به کارکنان حوزه فناوری بود که شاید آمادگی تکنولوژیکی بالاتری نسبت به سایر اقشار داشته باشند. ثانیاً، اثرات درازمدت استفاده از هدست‌های VR (مانند خستگی چشم یا سنگینی هدست) در این مطالعه کوتاه مدت بررسی نشد. ممکن است استفاده طولانی مدت خود عامل خستگی فیزیکی شود. نکته دیگر بحث تفاوت‌های فردی است؛ برخی افراد ممکن است در محیط‌های شبیه‌سازی شده دچار حالت تهوع شوند که اثر ترمیمی را خنثی می‌کند. بنابراین، طراحی این فضاها باید با قابلیت شخصی‌سازی بالا همراه باشد.

در نهایت، نتیجه‌گیری می‌شود که متاورس پتانسیلی فراتر از یک فضای اجتماعی یا تجاری دارد و می‌تواند به عنوان بستری برای ارتقای سلامت روان شغلی مورد استفاده قرار گیرد. معماران فضاهای مجازی باید از کپی‌برداری صرف از دفاتر فیزیکی دست بردارند و به سمت خلق محیط‌های «فرا-طبیعی» حرکت کنند که تعامل انسان با طبیعت را در سطحی جدید ممکن می‌سازد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، تأثیر ترکیب تکنیک‌های ذهن‌آگاهی با فضاهای بیوفیلیک متاورسی و همچنین استفاده از واقعیت افزوده (AR) به جای VR کامل برای کاهش انزوای کاربر از محیط واقعی، مورد بررسی قرار گیرد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

¹ Motion Sickness

² Mindfulness

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

The rapid transition toward hybrid work environments, driven by advances in digital technologies and global structural shifts in organizational practices, has fundamentally transformed the nature of human–workspace interaction. While hybrid work models offer increased flexibility and autonomy, they also introduce new cognitive challenges associated with sustained digital engagement, including mental fatigue, attentional depletion, and diminished cognitive performance. Continuous exposure to virtual interfaces, reduced sensory diversity, and prolonged engagement with cognitively demanding tasks contribute to the phenomenon of digital fatigue, which impairs executive functioning, emotional regulation, and productivity. In response to these challenges, emerging technological ecosystems such as the metaverse present new opportunities for redefining work environments in ways that support cognitive well-being. However, merely replicating traditional office structures in virtual space is insufficient; instead, metaverse environments must be intentionally designed to enhance psychological and cognitive restoration using principles derived from environmental psychology and architectural design (1).

Attention Restoration Theory (ART), developed by Kaplan and Kaplan, provides a foundational theoretical framework for understanding how environmental features influence cognitive recovery processes. According to ART, directed attention—the cognitive resource required for focused work and executive control—is limited and becomes depleted through sustained use. Natural environments facilitate restoration by engaging involuntary attention through characteristics such as fascination, extent, and compatibility, thereby allowing directed attention to recover without effort. While the restorative effects of physical nature are well documented, recent technological advances have enabled the creation of immersive virtual environments capable of simulating natural experiences. Virtual nature, when designed with sufficient realism and immersion, can activate similar perceptual and neurological mechanisms as real-world natural settings, thereby facilitating attention restoration and reducing cognitive fatigue (2).

Biophilic design, rooted in the biophilia hypothesis proposed by Wilson, emphasizes the innate human affinity for natural environments and the psychological benefits derived from exposure to natural elements. In architectural contexts, biophilic design incorporates features such as natural light, vegetation, organic forms, and sensory variability to enhance psychological

comfort and cognitive functioning. In virtual environments, these principles can be translated into immersive digital ecosystems that incorporate dynamic natural elements, spatial openness, and multisensory stimulation. Unlike physical architecture, virtual environments are not constrained by material limitations, allowing designers to create optimized restorative environments tailored to cognitive and emotional needs. However, the effectiveness of such environments depends on factors such as graphical fidelity, sensory realism, and the subjective experience of presence, which determines the extent to which users perceive virtual environments as psychologically meaningful spaces (6, 7).

Furthermore, cognitive load theory highlights the importance of environmental structure in regulating mental effort and attentional efficiency. Poorly designed environments increase extraneous cognitive load, thereby accelerating fatigue and reducing performance. Conversely, environments characterized by structured complexity and natural patterns can reduce cognitive load while maintaining engagement. Biophilic environments provide optimal cognitive stimulation by balancing novelty and predictability, enabling efficient information processing and mental recovery. Given the increasing reliance on virtual environments for work, understanding how biophilic design principles can be applied within metaverse platforms represents a critical research priority for improving cognitive health and workplace performance (4, 8).

Despite growing interest in virtual environments and cognitive restoration, empirical evidence regarding the effectiveness of biophilic architectural design in metaverse environments remains limited. Most existing research has focused on virtual reality for entertainment or therapeutic applications, rather than workplace cognitive restoration. Therefore, this study aims to empirically examine the impact of immersive virtual biophilic architecture on mental fatigue reduction and attention restoration among employees working in hybrid environments, thereby contributing to the emerging interdisciplinary field at the intersection of environmental psychology, digital architecture, and cognitive ergonomics (5).

Methods and Materials

This study employed a quasi-experimental design using a pretest–posttest control group structure to examine the effectiveness of virtual biophilic architectural environments in promoting cognitive restoration. The sample consisted of 60 remote employees working in hybrid organizational settings who met predefined inclusion criteria, including regular engagement in cognitively demanding digital work and familiarity with virtual interfaces. Participants were randomly assigned to one of three experimental conditions: a fully immersive biophilic virtual environment, a virtual environment with limited biophilic elements, and a standard virtual office environment without natural features.

Prior to the intervention, all participants completed a cognitively demanding task designed to induce mental fatigue. This fatigue induction phase ensured that baseline levels of cognitive depletion were comparable across groups. Following fatigue induction, participants were exposed to their assigned virtual environment for a standardized duration using immersive virtual reality technology. The fully immersive biophilic environment incorporated dynamic natural features such as moving water, ambient natural sounds, and adaptive lighting conditions. The limited biophilic environment included static natural elements without dynamic or multisensory integration, while the control environment consisted of a conventional digital workspace without natural features.

Cognitive performance and mental fatigue were assessed using objective and subjective measures. The Attention Network Test (ANT) was used to evaluate attentional control, including executive attention, orienting, and alerting networks. Mental fatigue was measured using a validated self-report fatigue scale. Data were analyzed using statistical software to evaluate differences between groups, with inferential analyses including analysis of variance (ANOVA), paired comparisons, and covariance analysis to isolate the effects of environmental exposure on cognitive restoration.

Findings

The results demonstrated significant differences in cognitive restoration and mental fatigue reduction across the three experimental conditions. Participants exposed to the fully immersive biophilic virtual environment exhibited the greatest reduction in mental fatigue, with fatigue scores decreasing by approximately 50 percent following the intervention. In contrast, participants exposed to the limited biophilic environment experienced moderate reductions in fatigue, while the control group showed minimal improvement. These findings indicate that the presence of immersive biophilic features substantially enhances cognitive recovery beyond the effects of rest alone.

Performance on the Attention Network Test also improved significantly in the fully immersive biophilic environment. Reaction times associated with executive control decreased substantially, indicating enhanced attentional efficiency and improved cognitive processing speed. Participants in the limited biophilic condition showed moderate improvements, whereas the control group demonstrated no statistically significant changes. These results suggest that immersive virtual biophilic environments facilitate restoration of directed attention, enabling individuals to perform cognitively demanding tasks more efficiently following exposure.

Error rates during cognitive testing were also significantly lower among participants exposed to the immersive biophilic environment compared to other groups. Reduced error frequency indicates improved cognitive clarity, sustained attention, and reduced mental interference. The statistical analysis confirmed that the observed differences between groups were highly significant, demonstrating that environmental design was the primary factor influencing cognitive restoration outcomes. Overall, the findings provide strong empirical evidence that immersive biophilic virtual environments significantly enhance cognitive recovery and attentional functioning.

Discussion and Conclusion

The findings of this study provide compelling evidence that virtual biophilic architecture in metaverse environments can serve as an effective cognitive restorative intervention for individuals working in hybrid digital settings. The significant reductions in mental fatigue and improvements in attentional performance observed in the immersive biophilic condition support theoretical predictions derived from Attention Restoration Theory, which posits that environments incorporating natural features facilitate cognitive recovery. These findings demonstrate that virtual environments can replicate key restorative properties of natural settings when designed with sufficient realism, sensory richness, and immersion.

One of the most important contributions of this study is the identification of dynamic environmental features, such as motion, sound, and adaptive lighting, as critical determinants of cognitive restoration effectiveness. Static representations of nature were less effective than immersive environments incorporating multisensory stimulation. This suggests that the psychological impact of virtual environments depends not only on visual representation but also on the integration of interactive and dynamic elements that enhance presence and experiential authenticity.

The observed improvements in executive attention and reduced cognitive error rates highlight the potential practical applications of virtual biophilic environments in workplace settings. Cognitive fatigue is a major barrier to sustained productivity, particularly in knowledge-intensive occupations requiring continuous attentional engagement. Providing access to restorative virtual environments may help employees recover cognitive resources more efficiently, thereby improving performance, reducing burnout, and enhancing overall well-being.

Furthermore, the metaverse offers unique opportunities for personalized cognitive restoration, allowing environments to be tailored to individual psychological preferences and needs. Unlike physical environments, virtual spaces can be optimized without material constraints, enabling organizations to implement scalable and cost-effective restorative interventions. This

capability has important implications for the future of workplace design, particularly as digital work environments continue to expand.

Despite its contributions, this study highlights the need for further research on long-term exposure effects, individual differences in responsiveness to virtual environments, and the integration of restorative environments into routine work practices. Future research should explore the interaction between environmental design, psychological factors, and neurophysiological responses to better understand the mechanisms underlying virtual cognitive restoration.

In conclusion, this study demonstrates that immersive virtual biophilic architecture represents a promising and effective strategy for reducing mental fatigue and restoring attentional capacity in hybrid work environments. By integrating principles of environmental psychology, cognitive science, and digital architecture, metaverse environments can be designed to support not only functional work performance but also cognitive health and psychological well-being. These findings underscore the importance of intentional virtual environment design and establish a foundation for the development of cognitively restorative digital workspaces in the evolving landscape of hybrid and virtual work.

References

1. Bailenson JN. Experience on demand: What virtual reality is, how it works, and what it can do: W. W. Norton & Company; 2018.
2. Kaplan S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*. 1995;15(3):169-82.
3. Kellert SR, Heerwagen J, Mador M. Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life: John Wiley & Sons; 2008.
4. Browning MHEM, Mimnaugh KJ, van Riper CJ, Laurent HK, LaValle SM. Can virtual reality replenish depleted health and nature experiences? An experimental study of restorative environments. *Frontiers in Psychology*. 2020;10:2963.
5. Yin J, Yuan J, Arfaei N, Catalano PJ, Allen JG, Spengler JD. Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment. *Environment International*. 2020;136:105427.
6. Wilson EO. Biophilia: Harvard University Press; 1984.
7. Slater M. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009;364(1535):3549-57.
8. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*. 1988;12(2):257-85.