

The effect of architectural design of educational spaces on the cognitive functions of learning based on neuroscience

Mahbubeh Zamani¹

Farzaneh Vafae²

Faramarz Fadaee³

Received Date: 15 April, 2024

Accepted Date: 02 December, 2024

<https://doi.org/10.30480/AR.CAND.2024.5277.1062>

Abstract

The cognitive functions of learning are under various factors, in the meantime, the physical environment is one of the most important factors, which has been neglected so far due to its hidden and unconscious influence. Important parameters of cognitive functions in learning include attention, memory and excitement. These three parameters that form the basis of learning can be influenced by the physical environment of the educational space. In order to achieve optimal education, in addition to educational items, a suitable architectural space should also be provided in order to create the basis for better attention, memory and excitement. Therefore, the influence of architectural space on cognitive functions cannot be ignored. Therefore, the current research seeks to answer such questions: Which components of the design of the educational space affect the cognitive functions of learning such as attention, memory and emotion? And what are the available tools and methods to identify these effects? In order to answer these questions, the present study has used the systematic review method. A review has been conducted in the period from 2000 to 2023 among English studies based on specific inclusion criteria, defined databases, and basic neuroscience studies. The results of the research have shown that the components of light, color, texture and materials, length, width and height, form and geometry, temperature and air quality and naturalism have an effect on the cognitive functions of learning, which in the results of each of them are divided into attention, memory and excitement.

Keywords: Architectural Design, Educational Space, Cognitive Function, Learning Neuroscience.

1. Visiting faculty, Department of Art and Architecture, Higher Education Khorasan, Mashhad, Iran (Corresponding author).
E-mail: M-zamani@mshdiau.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Neurosciences, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medicine, Mashhad, Iran.
Email: vafaeibagherif@mums.ac.ir
3. Faramarz Fadaee, Faculty Member, Department of Art and Architecture, Higher Education, Khorasan, Mashhad, Iran.

تأثیر طراحی معماری فضاهای آموزشی بر عملکردهای شناختی یادگیری مبتنی بر علوم اعصاب

فرزانه وفائی^۲

محبوبه زمانی^۱

فرامرز فدایی^۳

<https://doi.org/10.30480/ARCAND.2024.5277.1062>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

چکیده

عملکردهای شناختی یادگیری تحت عوامل مختلفی هستند، در این بین، محیط فیزیکی یکی از مهم‌ترین عوامل است، که به دلیل تأثیر پنهان و ناخودآگاه آن، تا کنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پارامترهای مهم عملکردهای شناختی در یادگیری، شامل توجه، حافظه و هیجان می‌باشد. این سه پارامتر که اساس یادگیری را شکل می‌دهد، می‌تواند تحت تأثیر محیط فیزیکی فضای آموزشی قرار گیرند. جهت‌دستیابی به آموزش بهینه علاوه بر موارد تربیتی، باید فضای معماری مناسبی نیز مهیا گردد تا زمینه‌ساز فعالیت بهتر توجه، حافظه و هیجان گردد. از همین‌روی، تأثیر فضای معماری بر عملکردهای شناختی یادگیری را نمی‌توان نادیده انگاشت. لذا پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به چنین سوالاتی است: کدام مولفه‌های طراحی فضای آموزشی بر عملکردهای شناختی یادگیری مانند توجه، حافظه و هیجان تأثیرگذار است؟ و ابزارها و روش‌های موجود برای شناسایی این تأثیرات کدام هستند؟ جهت پاسخ به این سوالات، پژوهش حاضر از روش مرور سیستماتیک بهره برده است. مرور در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ در میان مطالعات انگلیسی بر اساس معیارهای ورود مشخص، پایگاه داده‌های تعریف شده و مطالعات پایه علوم اعصاب صورت گرفته است. نتایج پژوهش نشان داده است که مولفه‌های نور، رنگ، بافت و مصالح، طول و عرض و ارتفاع، فرم و هندسه، دما و کیفیت هوا و طبیعت‌گرایی بر عملکردهای شناختی یادگیری تأثیرگذار هستند که در نتایج هر یک به تفکیک توجه، حافظه و هیجان به همراه راهبردهای طراحی فضای آموزشی مشخص شده‌اند، و بهترین ابزارها جهت شناسایی فعالیت‌های توجه، حافظه و هیجان بر اساس علوم اعصاب ارائه شده است.

کلیدواژگان: طراحی معماری، فضای آموزشی، عملکرد شناختی، یادگیری، علوم اعصاب

۱. هیئت علمی مدعو، گروه هنر و معماری، آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول).

Email: M-zamani@mshdiau.ac.ir

۲. استادیار، گروه علوم اعصاب، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

Email: vafaeibagherif@mums.ac.ir

۳. هیئت علمی، گروه هنر و معماری، آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران.

مقدمه

محیط ساخته شده تاثیر مستمری بر انسان دارد (Karakas & Yildiz, 2020). تاثیر کیفیت محیط داخلی (IEQ)^۱ بر راحتی و رفاه انسان حیاتی است (Arif, Katafygiotou, Mazroei, Kaushik & Elsarrag, 2016)، و در محیط‌های آموزشی به طور قابل توجهی تاثیر می‌گذارد (Blackmore, Bateman, Loughlin, 2016; O'Mara & Aranda, 2011; Earthman, 2004; Gilavand & Jamshidnezhad, 2016). با وجود این‌که یادگیری تحت تاثیر عوامل بیرونی مانند تعاملات دانش‌آموزان با مربی (Lindblom-Ylänne, Pih- 2003)، شرایط اجتماعی-فرهنگی (Eccles, 2005)، عوامل درونی مانند حالات احساسی (Hascher, 2010) می‌باشد، اما محیط فیزیکی نیز بر یادگیری تاثیر زیادی داشته است و نمی‌توان آن را نادیده گرفت، و باید به تاثیر شناختی آن نیز توجه نمود (Mavros et al., 2021). به دلیل اهمیت تاثیرات شناختی محیط اطراف بر دانش‌آموزان و دانشجویان، مطالعات به سمت تحلیل رابطه‌ی بین محیط‌های فیزیکی و یادگیری هدایت شده‌اند (Yang, Becerik-Gerber & Mino, 2013). بنابراین توجه به فضاهای آموزشی ضروری است، زیرا توانایی شناختی تنها در سنین پایین قابل افزایش است (Kremen et al., 2019). توانایی شناختی عمومی^۲ نسبتاً ایستا است اما عملکرد شناختی خاص^۳ به شدت به محیط زیست وابسته است (Thompson, Detterman & Plomin, 1991).

اخیراً با استفاده از علوم اعصاب و تکنیک‌ها و ابزارهای آن، به مطالعه‌ی علوم اعصاب شناختی، عصب‌شناسی هیجانی و روان‌شناسی آموزشی برای بهینه‌سازی عملکردهای شناختی در یادگیری (Carew & Magsamen, 2010) و مطالعه‌ی تاثیر معماری بر شناخت پرداخته‌اند، اخیراً مطالعات چند رشته‌ای با پیشرفت‌های فن‌آوری جدید در یک گرایش نوین ظهور کرده‌اند (Papale, Chiesi, Rampinini, Pietrini & Ricciardi, 2016). این رویکرد چند رشته‌ای جدید توسط آکادمی علوم اعصاب برای معماران^۴ (ANFA) تاسیس گشته است (Ster- nberg & Wilson, 2006)، به نام معماری عصب‌محور^۵ نام گرفته است و از ترکیب علوم اعصاب با معماری شکل یافته است (Mallgrave, 2010; Pallasmaa, Mallgrave, Arbib & Tidwell, 2013). با بهره‌گیری از این رویکرد معماران می‌توانند، چگونگی درک ما از جهان و چگونگی تاثیر آن بر احساسات و شناخت را روشن بسازد (Bower, Tucker & Enticott, 2019; Choo, Nasar, Nikrahei & Nikrahei, 2017; Rad- wan & Ergan, 2017). یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های این رویکرد، امکان اندازه‌گیری پاسخ‌های غیر ارادی است (de Kort, Ijsselstein, Kooijman & Schuurmans, 2003; Parsons, Bowerly, Buckwalter & Rizzo, 2007). علاوه بر این استفاده از VR^۶ همراه با روش‌های عصب‌شناسی برای اندازه‌گیری پیامدهای عصبی، روان‌شناختی و فیزیکی باعث پیشرفت مطالعات گشته است (Hu & Roberts, 2020).

استفاده از واقعیت مجازی VR همراه با روش‌های عصب‌شناسی برای اندازه‌گیری پیامدهای عصبی، روان‌شناختی و فیزیکی مشکل کنترل و جداسازی متغیرهای طراحی محیط‌ها ساخته شده را حل کرده است (Hu & Roberts, 2011; Higgins & Green, 2020). استفاده از فضاهای فیزیکی در این زمینه به دلیل هزینه بالای انجام اصلاحات مشکل‌ساز است. واقعیت مجازی یک جایگزین ایده‌آل کم هزینه است که به آزمایش کنندگان اجازه می‌دهد تا متغیرها را کنترل کنند (Latini, 2021). بهره‌گیری از VR در معماری گسترش یافته است و اعتبارسنجی محیط‌های شبیه‌سازی شده در آن توسط آزمودنی‌ها پاسخ‌های رفتاری فیزیولوژیکی مشابهی را مانند فضای واقعی از خود نشان داده‌اند (Armougum, Orriols, Gaston-Bellegarde, Joie-La Marle, 2019; Higuera-Trujillo, Maldonado & Millán, 2017; Marián-Morales et al., 2019). و شرکت کنندگان حس قوی حضور را تایید کرده‌اند (Heydarian et al., 2015). در زمینه‌ی فضاهای آموزشی نیز شباهت‌های عملکرد شناختی در کلاس‌های واقعی و مبتنی بر واقعیت مجازی ثابت شده

1 indoor environmental quality

2 general cognitive ability

3 specific cognitive performance

4 Academy of Neuroscience for Architecture

5 neuroarchitecture

6 Virtual reality

است (Kalantari, Rounds, Kan, Tripathi & Cruz-Garza, 2021). برخی از محققان نیز دریافتند که VR ابزار موثری برای اندازه‌گیری عملکرد توجه (Díaz-Orueta et al., 2013) و حافظه فعال (Matheis et al., 2007) در زمینه یادگیری می‌باشد (Rodríguez, 2018). VR پاسخ‌های روانشناختی و فیزیولوژیکی عصبی را ایجاد می‌کند، مانند پاسخ‌هایی که توسط محیط‌های فیزیکی القا می‌گردد (Higuera-Trujillo, Llinares & Castilla, 2018). این روش برای ارزیابی مشکلات توجه و حافظه استفاده شده است (Iriarte et al., 2016; Díaz-Orueta et al., 2014). همچنین ابزار مقرون به صرفه و کارآمدتری نسبت به محیط‌های فیزیکی واقعی در کمی‌سازی فرآیندهای شناختی است (Rizzo, Schultheis, Kerns & Mateer, 2004).

بنابراین پژوهش در رابطه با تأثیر طراحی فضای آموزشی معماری بر عملکردهای شناختی باید در اولویت قرار گیرد و جهت دستیابی به آن از علم نوین اعصاب استفاده گردد تا دقیق‌ترین نتایج ارائه گردد. لذا پژوهش حاضر در پی پاسخ به دو سوال است: کدام مولفه‌های طراحی فضای آموزشی بر عملکردهای شناختی یادگیری مانند توجه، حافظه و هیجان تأثیرگذار است؟ و ابزارها و روش‌های موجود برای شناسایی این تأثیرات کدام هستند؟ جهت پاسخ‌گویی به این سوالات در بخش داده‌کاوی از مبانی نظری موجود، از روش مرور سیستماتیک استفاده شده است و تحلیل نتایج به روش کیفی با راهبرد استدلال منطقی صورت گرفته است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از روش مرور سیستماتیک بهره برده است (Higgins & Green, 2008). داده‌ها^۱ بر اساس چندین معیار ورودی^۲ و فقط در میان مطالعات منتشر شده به زبان انگلیسی انتخاب شده‌اند. نخستین معیار کلید واژه‌های تخصصی بوده است که شامل (Cognition and (Architecture or Neuroarchite- ture or Neuroscience or Learning space or Design variables) و همچنین مرور بر اساس منطق بیان شده با واژگان دیگر (Attention and (Architecture or Neuroarchitecture or Neuroscience or Learning space or Design variables), memory and (Architecture or Neuroarchitecture or Neuroscience or Learning space or Design variables), emotion and (Architecture or Neuroarchitecture or Neu- roscience or Learning space or Design variables) ادامه یافت. بنابراین مطالعات باید سه معیار توجه، حافظه و هیجان را در محیط واقعی یا محیط شبیه‌سازی شده سه‌بعدی یا دوبعدی مورد بررسی قرار داده باشند، همچنین از ابزارها و روش‌های علوم اعصاب بهره برده باشند و نتایج نوروفیزیولوژیک به همراه پاسخ‌های سیستم‌های عصبی نیز ارائه داده باشند. مطالعات جهت ورود به مرور، علاوه بر عنوان و چکیده، هدف، سوال، فرضیه و روش آن‌ها نیز مورد تحلیل قرار گرفتند.

معیار دیگر سال چاپ مطالعات بوده است، که در بازه زمانی ۱ ژانویه ۲۰۰۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۳ چاپ شده باشند. همچنین معیار دیگر ورود مطالعات درجه ژورنالی Q1 و Q2 بوده است که در این میان مطالعات کنفرانسی، همایشی و پایان نامه از مرور حذف گردیده‌اند. علاوه بر این مطالعاتی که بر روی جامعه آماری حیوانی مطالعه کرده‌اند، از روند مرور حذف گردیدند تا شواهد علمی واقعی مورد بررسی قرار گیرد.

پایگاه داده‌های اطلاعات^۳ شامل ProQuest و Scopus بوده است که به عنوان دایرکتورهای معتبر جهت چاپ مطالعات تجربی شناخته شده است. سپس پایگاه‌های EMBASE، Science Direct، Scopus، MEDLINE، Web of Science، PsycINFO و در نهایت جهت بررسی بیشتر Google Scholar و Re- searchgate نیز مورد جست‌وجو قرار گرفتند.

جهت انتخاب مطالعات^۴ دو مورد تحلیل گشتند: (۱) روش مطالعات مورد بررسی قرار گرفت تا از علوم اعصاب و روش‌های آن بهره برده باشند. (۲) در نتایج اثرات فیزیولوژیک و عصب‌شناختی ارائه شده باشد. در هر گروه، از

1 Data collection

2 Inclusion criteria

3 Locate studies

4 Select studies

تابع "OR" برای گسترش نتیجه جست‌وجو استفاده شده است. بین گروه‌ها، از تابع "AND" برای محدود کردن تعداد نتایج جست‌وجو استفاده شده است و اطمینان حاصل شد که هر نتیجه جست‌وجو حداقل یک کلمه کلیدی را ارائه داده باشد. در روند انتخاب مطالعات، از روش گزارشگری ترجیحی برای بررسی‌های سیستماتیک و متآنالیز (PRISMA) استفاده شده است (Moher et al., 2009).

پس از آن برای ارزیابی کیفیت مطالعات^۱ از دو نفر مرورگر به طور مستقل با گرایش‌های معماری و علوم اعصاب کمک گرفته شده است تا با کلمات تخصصی آشنایی کامل داشته باشند. پس از بررسی نتایج مرور، مورد تایید نگارندگان قرار گرفت. در استخراج داده‌ها^۲ ابتدا ۳۵ مطالعه بر اساس معیارهای تعیین شده، مشخص شدند. پس از حذف مطالعات تکراری یا مطالعاتی که دارای ابهام بودند، نتایج نهایی^۳ مطابق با هدف مرور حاضر شامل ۱۷ مطالعه شدند.

یافته‌های پژوهش

در میان تمام عناصر طراحی فضای معماری، متغیرهای محیطی (دما، آکوستیک و روشنایی) بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. چندین پارامتر آکوستیک مانند نویز، طنین و فاصله‌گوینده و شنونده بر فرآیند توجه و یادگیری تاثیر می‌گذارند. از لحاظ آکوستیک مشخص شده است که هر چه دورتر منبع صدا و حضور نویز بیشتر باشد، تاثیر منفی بر فرآیند یادگیری بیشتر می‌گردد (Crandell & Smaldino, 2000; Picard & Bradley, 2001). اما چون مطالعات در زمینه‌ی صدا بر مبنای شناختی و علوم اعصاب صورت نگرفته است، در روند پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است. برخی از مطالعات نیز تنها بر تعامل میان اساتید و دانشجویان بر اساس اندازه کلاس و توزیع مبلمان فضایی تمرکز داشته‌اند (Blatchford, Bassett & Brown, 2011; Cardellino, Araneda & García Alvarado, 2018). هم‌چنین مطالعاتی که نتایج تحصیلی را به جای فرآیندهای شناختی و پاسخ‌های عصبی مورد بررسی قرار داده بودند نیز حذف گردیدند (Stojic, Orquin, Dayan, Dolan & Speekenbrink, 2020). نتایج نهایی مطالعات طبق جدول ۱ بوده است.

جدول ۱ - یافته‌های مرور

متغیرهای مورد سنجش	عنوان	سال / نویسنده
نور	تأثیرات روشنایی بر حافظه دانش‌آموزان: یک مطالعه معماری عصب‌محور ^۴	Castilla, Higuera-Trujillo, & Llinares, 2023
طبیعت، فرم و ارتفاع و محفظه	کاوش در قدرت‌های طراحی معماری با کمک علوم اعصاب (سنجش کوچک معماری) ^۵	Shaaban, Kamel & Khodeir, 2023
نور	آیا وظایف توجه و حافظه به یک نوع نورپردازی نیاز دارند؟ مطالعه‌ای در کلاس‌های دانشگاهی ^۶	Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a
رنگ	کلاس‌های با رنگ سرد و گرم: تأثیرات بر توجه و حافظه دانش‌آموزان از طریق پاسخ‌های روان‌شناختی و نوروفیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده ^۷	Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b

1 Assess study quality

2 Extract data

3 final results

4 The effects of illuminance on students' memory. A neuroarchitecture study

5 Exploring the architectural design powers with the aid of neuroscience (little architect's adventure)

6 Do attention and memory tasks require the same lighting? A study in university classrooms

7 Cold and warm coloured classrooms. Effects on students' attention and memory measured through psychological and neurophysiological responses

متغیرهای مورد سنجش	عنوان	سال/ نویسنده	
نور، روشنایی و دمای رنگ	تأثیرات دمای رنگ همبسته نور LED بر احساس بصری، ادراک و عملکرد شناختی در محیط نورپردازی کلاس درس ^۱	Yang & Jeon, 2020	۵
رنگ	آیا تضاد رنگ داخلی حافظه فضایی را تقویت می‌کند؟ تحقیقات رنگ ^۲	Min & Lee, 2020	۶
طبیعت	تأثیرات مداخلات بیوفیلیک در دفتر کار بر واکنش‌های استرسی و عملکرد شناختی: یک مطالعه تصادفی متقاطع در واقعیت مجازی ^۳	Yin et al., 2019	۷
فرم و هندسه	تأثیر اشکال هندسی فضاهای معماری و مصالح ساخت بر امواج مغزی و وضعیت آگاهی کاربران ^۴	Elbaiuomy, Hegazy & Sheta, 2019	۸
نور، صدا و دما	تأثیر محیط فیزیکی داخلی بر کارایی یادگیری در انواع مختلف وظایف: تحلیل طراحی عاملی کامل $3 \times 4 \times 35$	Xiong et al., 2018	۹
مصالح و بافت	پاسخ‌های فیزیولوژیکی انسان به محیط داخلی چوبی ^۵	Zhang, Lian & Wu, 2017	۱۰
فرم و هندسه	پیاپی‌رویی در فضاهای معماری: تأثیر فرم‌های داخلی بر دینامیک‌های مغزی انسان ^۶	Banaei, Yazdanfar, Hata-mi & Gramann, 2017	۱۱
فرم و هندسه	پاسخ‌های احساسی به معماری – بررسی واکنش انسانی به فضاهای با هندسه‌های مختلف ^۷	Shemesh et al., 2017	۱۲
رنگ	پژوهشی در مورد تأثیر رنگ‌های دیوار کلاس بر توجه دانش‌آموزان ^۸	Duyan & Ünver, 2016	۱۳
ارتفاع و محفظه	طراحی معماری و مغز: تأثیر ارتفاع سقف و احساس محصوریت بر ارزیابی‌های زیبایی و تصمیمات نزدیک‌شدن-پرهیز ^۹	Vartanian et al., 2015	۱۴
نور، صدا و دما	تأثیر محیط ساخته شده کلاس درس بر ادراک و یادگیری دانش‌آموزان ^{۱۰}	Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014	۱۵
ارتفاع و محفظه	تأثیر فرم‌های هندسی بر ارزیابی‌های زیبایی و تصمیمات نزدیک‌شدن-پرهیز در معماری ^{۱۱}	Vartanian et al., 2013	۱۶

1 Effects of Correlated Colour Temperature of LED Light on Visual Sensation, Perception, and Cognitive Performance in a Classroom Lighting Environment

2 Does interior color contrast enhance spatial memory? Color Res

3 Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality

4 The impact of architectural spaces' geometric forms and construction materials on the users' brainwaves and consciousness status

5 Impact of indoor physical environment on learning efficiency in different types of tasks: A $3 \times 4 \times 3$ full factorial design analysis

6 Human physiological responses to wooden indoor environment

7 Walking through architectural spaces: The impact of interior forms on human brain dynamics

8 Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry

9 A research on the effect of classroom wall colours on student's attention

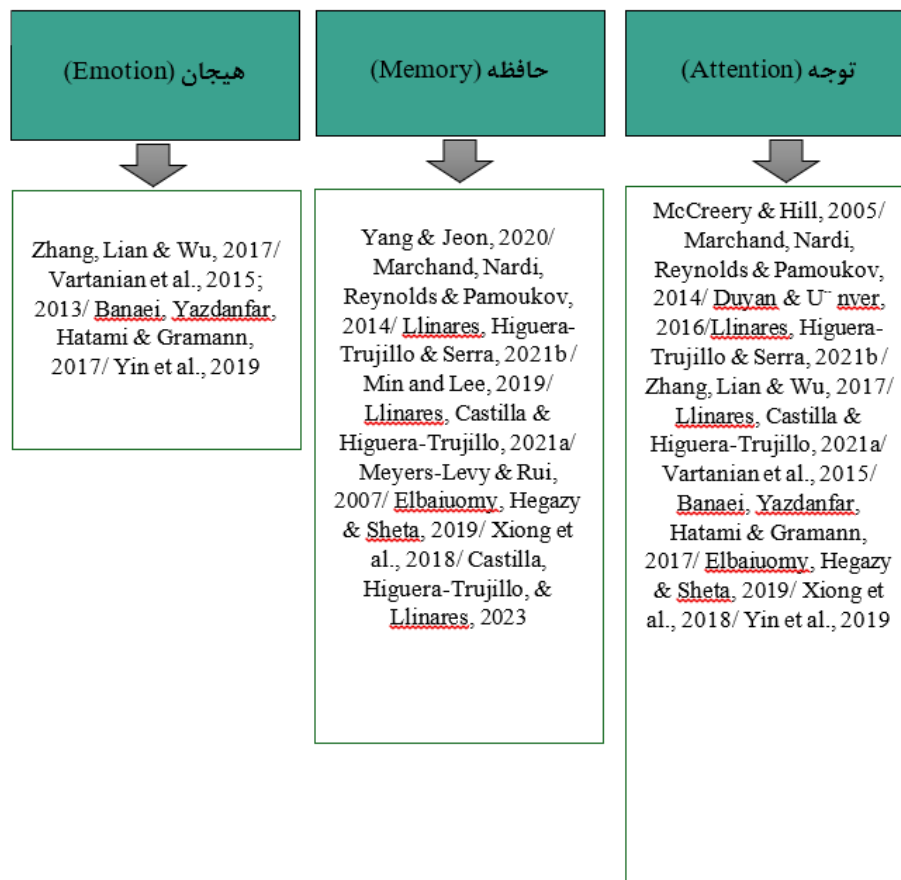
10 Architectural design and the brain: Effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions

11 The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning

12 Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture

متغیرهای مورد سنجش	عنوان	سال/ نویسنده
ارتفاع و محفظه	تأثیر ارتفاع سقف: اثر تحریک بر نوع پردازشی که افراد از آن استفاده می‌کنند ^۱	Meyers-Levy & Rui, 2007
نور	نورپردازی محیط کلاس درس ^۲	McCreery & Hill, 2005

بر اساس نتایج مرور، طبق نمودار ۱ مطالعات در سه دسته‌ی توجه، حافظه و هیجان قابل دسته‌بندی هستند. برخی از مطالعات بر روی دو مولفه به عنوان مثال توجه و هیجان (Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2015; Vartanian et al., 2017)، توجه و حافظه (Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014; Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b) مطالعه نموده‌اند.



نمودار ۱ - دسته‌بندی مطالعات بر اساس عملکردهای شناختی یادگیری

فضای مورد مطالعه: برخی از مطالعات در فضا واقعی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Yang & Jeon, 2020; Xiong et al., 2018; Zhang, Lian & Wu, 2017; Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014; Meyers-Levy & Rui, 2007; McCreery & Hill, 2005). اما در میان این مطالعات فقط سه مطالعه در محیط واقعی مولفه‌های نور، صدا و دما را کنترل کرده‌اند (Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014; Meyers-Levy & Rui, 2007; McCreery & Hill, 2005).

1 The influence of ceiling height: the effect of priming on the type of processing that people use

2 Illuminating the Classroom Environment

انجام شد بر تأثیر ارتفاع سقف متمرکز بود. ن مطالعه در چهار فضای داخلی یکسان به جز ارتفاع سقف آنها انجام شد. محققان فقط ارتفاع را بدون مشخص کردن عرض یا طول منطقه گزارش کردند و پارامترهای آسایش را گزارش نکرده‌اند (Meyers-Levy & Rui, 2007). مطالعات دیگر در فضای سه‌بعدی شبیه‌سازی شده صورت گرفته است، که برای نمایش از عینک VR استفاده نموده‌اند (Shaaban, Kamel & Khodeir, 2023; Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b; Min & Lee, 2020; Yin et al., 2019; Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017; Shemesh et al., 2017). بر اساس جدول ۲ مطالعاتی که در ۶ ساله اخیر صورت گرفته است، به دلیل پیشرفت علم از فضای سه‌بعدی استفاده نموده‌اند و دیگر مطالعات از تصاویر دوبعدی جهت سنجش استفاده نموده‌اند.

جدول ۲- فضای مورد آزمایش مطالعات

نویسنده/ سال	محیط مورد مطالعه
Castilla, Higuera-Trujillo, & Llinares, 2023	محیط واقعی
Shaaban, Kamel & Khodeir, 2023	هدست واقعیت مجازی سه بعدی HTC Vive
Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a	هدست واقعیت مجازی سه بعدی HTC Vive
Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b	هدست واقعیت مجازی سه بعدی HTC Vive
Yang & Jeon, 2020	محیط واقعی
Min and Lee, 2020	ویدئوهای محیط مجازی سه بعدی با استفاده از موتور Unreal Engine 4.18
Yin et al., 2019	هدست واقعیت مجازی سه بعدی نرم افزار CAVE VizTech
Elbaiuomy, Hegazy & Sheta, 2019	نرم‌افزار شبیه‌سازی استودیو CST Microwave
Xiong et al., 2018	محیط واقعی
Zhang, Lian & Wu, 2017	محیط واقعی
Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017	هدست واقعیت مجازی سه بعدی HTC Vive
Shemesh et al., 2017	هدست واقعیت مجازی سه بعدی HTC Vive
Duyan & Ünver, 2016	محیط واقعی (کلاس واقعی)
Vartanian et al., 2015	تصویر دو بعدی در سیگنال fMRI با کیفیت HD Excite
Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014	محیط واقعی (آزمایشگاه کنترل شده)
Vartanian et al., 2013	تصویر دو بعدی در سیگنال fMRI با کیفیت HD Excite
Meyers-Levy & Rui, 2007	محیط واقعی
McCreery & Hill, 2005	محیط واقعی

روش و ابزارهای مطالعه: طبق جدول ۳ مطالعات از روش‌های عصبی و برخی از روش‌های روان‌شناختی استفاده نموده‌اند. مطالعاتی که از روش‌های عصبی بهره برده‌اند جهت تکمیل از روش‌های روان‌شناختی نیز استفاده نموده‌اند. دو مطالعه نیز همبستگی معیارهای روان‌شناختی و فیزیولوژیکی عصبی را ثابت کرده‌اند (Llinares, 2021b; Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b). در میان ابزارهای علوم اعصاب جهت سنجش عملکردهای شناختی، EEG و fMRI بوده است که در تمامی مطالعات نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مطالعاتی که از ابزار EEG استفاده نموده‌اند، پنج مطالعه از الکتروود مرطوب (EegoS-) (EB Neuro, EASYCAP, b-Alert x10, and BEMicro) و دو مطالعه از الکتروود خشک (ports) استفاده کرده‌اند. علاوه بر دو ابزار فوق، یک مطالعه نیز امواج مغزی جامعه آماری را از طریق نرم‌افزار رایانه‌ای (CST Microwave Studio) مورد بررسی قرار داده است.

جدول ۳- روش و ابزارهای مطالعات

نویسنده/ سال	روش
Castilla, Higuera-Trujillo, & Llinares, 2023	تست وظیفه روان‌شناختی حافظه
Shaaban, Kamel & Khodeir, 2023	روان‌سنجی
Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a	روان‌سنجی و الکتروانسفالوگرافی
Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b	روان‌سنجی و الکتروانسفالوگرافی
Yang & Jeon, 2020	روان‌سنجی
Min and Lee, 2020	روان‌سنجی
Yin et al., 2019	ردیاب چشم/ نرخ نبض/ فشار خون/ پرسشنامه‌ها/ الکتروانسفالوگرافی
Elbaiuomy et al., 2019	روان‌سنجی
Xiong et al., 2018	روان‌سنجی
Zhang, Lian & Wu, 2017	مقاومت پوست/ دمای پوست/ فشار خون/ اشباع اکسی‌هموگلوبین/ نوار قلب
Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017	الکتروانسفالوگرافی/ تست سام
Shemesh et al., 2017	پرسشنامه‌های سانچز-ویوس و اسلیتر/ الکتروانسفالوگرافی
Duyan & Ünver, 2016	روان‌سنجی
Vartanian et al., 2015	MRI عملکردی/ روان‌سنجی
Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014	روان‌سنجی
Vartanian et al., 2013	پرسشنامه اسلیتر-اوسو-استید/ MRI عملکردی
Meyers-Levy & Rui, 2007	روان‌سنجی
McCreery & Hill, 2005	روان‌سنجی

جامعه آماری: در یک مطالعه اختلافات فرهنگی و ملیتی (Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014)، اثرات فرهنگی (Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, 2021b; Higuera-Trujillo & Serra, 2021b)، و زمینه‌های اجتماعی-فرهنگی اقتصادی (Duyan & Ünver, 2016)

(2016) تفکیک شده بودند. برخی مطالعات به بینایی طبیعی یا اصلاح شده توسط عینک اشاره کرده‌اند (Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017; Djebbara et al., 2019; Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b; Vartanian et al., 2013, 2015; Yang & Jeon, 2020). هم‌چنین یک مطالعه به شرایط خاصی مانند خواب کافی، و نوع رژیم غذایی نیز توجه نموده‌اند (Xiong et al., 2018). تعداد جامعه آماری و میانگین سنی آن‌ها در تمامی مطالعات متفاوت بوده است. تنها شش مطالعه میانگین سنی جامعه آماری را بیان کرده بودند (Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017; Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b; Min & Lee, 2020; Vartanian et al., 2013, 2015)، و دیگر مطالعات تنها تعداد جامعه آماری را مطرح کرده‌اند. جامعه آماری و تفکیک جنسیتی مطالعات در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- جامعه آماری

میانگین سنی	تعداد	زن	مرد	نویسنده/ سال
-	40	-	-	Castilla, Higuera-Trujillo, & Llinares, 2023
-	-	-	-	Shaaban, Kamel & Khodeir, 2023
23.56	90	39	51	Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a
23.56	160	69	91	Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b
20-25	60	30	30	Yang & Jeon, 2020
22.32	114	75	39	Min and Lee, 2020
26.3	30	22	8	Yin et al., 2019
-	-	-	-	Elbailuomy, Hegazy & Sheta, 2019
20-24	10	5	5	Xiong et al., 2018
26	20	10	10	Zhang, Lian & Wu, 2017
28.6	15	8	7	Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017
-	42	-	-	Shemesh et al., 2017
8-9	152	74	78	Duyan & Ünver, 2016
23.39	18	12	6	Vartanian et al., 2015
17-49	158	62	95	Marchand, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014
28.6	18	12	6	Vartanian et al., 2013
-	164	-	-	Meyers-Levy & Rui, 2007
-	-	-	-	McCreery & Hill, 2005

مولفه‌های موثر بر عملکردهای شناختی یادگیری

(۱) نور

تاکنون ثابت شده است، که نور تأثیر قابل توجهی بر اصول زندگی انسان، از جمله بینایی، خلق و خو، ریتم‌های شبانه‌روزی، رفتارهای روزانه، سلامتی و ایمنی دارد (Michael & Heracleous, 2017; Barrett, Davies, 2015; Zhang & Barrett, 2015). تأثیر نور بر بینایی شناخته‌شده‌ترین و واضح‌ترین است (Barkmann, Wes-2012; solowski & Schulte-Markwort, 2012). با این حال، باید توجه داشت که قرار گرفتن در معرض نور تأثیرات مهمی بر فیزیولوژی انسان دارد که ارتباطی با درک بصری ندارد (Mahlia, Razak & Nursahida, 2011). نور به دلیل دخالت مستقیم در فرآیندهای فیزیولوژیکی در سطح انتقال دهنده عصبی (Rea, Figue-2002; iro & Bullough, 2002) و فرآیندهای بیولوژیکی مانند تنظیم ریتم شبانه‌روزی در انسان (Turner, 2010). مورد مطالعه قرار گرفته است. در واقع، تأثیرات فیزیولوژیکی نور بر انسان‌ها کمتر شناخته شده است. این اثرات به دلیل کشف سلول‌های گانگلیونی شبکه حاوی ملانوپسین^۱ (ipRGC) در شبکه شناسایی شدند (Baloch et al., 2018). تصور می‌شود این سلول‌های گانگلیونی نقش حیاتی در بسیاری از اثرات بیولوژیکی غیر بصری نور بر انسان‌ها ایفا می‌کنند (Wei et al., 2014). قرار گرفتن در معرض نور تأثیرات فیزیولوژیکی و شناختی بر انسان‌ها دارند (Huiberts, Smolders & De Kort, 2015; Jung, Kim & Lee, 2017). آنها ارتباط مستقیم و غیر مستقیم با مناطقی از مغز دارند که در تنظیم برانگیختگی (Smolders, De Kort & Cluit-2022; Alamirah, Sch-2022; weiker & Azar, 2022) و پاسخ‌های هیجانی (Bellazzi et al., 2022) دخیل هستند. همچنین مشخص شده است که ipRGC ها با تنظیم خلق و خو و یادگیری مرتبط هستند (Heydarian et al., 2015).

مشخص است که نور نقش اساسی در محیط‌های یادگیری دارد (Higuera-Trujillo, Maldonado & Mil-2020; lán, 2017; Mahmoudzadeh, 2020) و مشخص شده است که شرایط نورپردازی بر عملکرد دانش‌آموزان (Başar, Başar-Eroğlu, Karakaş & Schürmann, 1999) و دستاوردهای تحصیلی آنها تأثیر می‌گذارد (Min, Jung, Kim & Park, 2013). به عنوان مثال وجود نور طبیعی به عنوان تأثیر مثبت بر خواندن و فعالیت‌های علمی شناسایی شده است (Tanner, 2009; Hescong, Wright & Okura, 2002). علاوه بر این سطح روشنایی نیز بر عملکرد شناختی بسته به دشواری کار ارائه شده تأثیر می‌گذارد (Huiberts, 2015; Smolders & De Kort, 2015).

نور بیشترین سهم میان مولفه‌های محیطی را دارد، و یکی از اجزای اصلی طراحی فضاهای آموزشی است (Barrett, Davies, Zhang & Barrett, 2015) و باعث دید بهینه، بهبود خلق و خو، ارتقاء توانایی یادگیری و عملکرد بهتر می‌گردد (Yang & Jeon, 2020). و پیشرفت تحصیلی را باعث می‌شود (Barkmann, Wes-2012; solowski & Schulte-Markwort, 2012). نور به طور مثبت با تمرکز دانش‌آموزان مرتبط است (Slee-2013; gers et al., 2013)، و افزایش روشنایی با عملکرد بهتر در آزمون‌های توجه و حافظه مرتبط است (Llinares, 2014; Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a; Smolders & de Kort, 2014). اثرات روشنایی مناسب بر هوشیاری ذهنی، سرزندگی و توجه پایدار در کارها تأثیرگذار می‌باشد (Smol-2014; Smolders & de Kort, 2014; ders & de Kort, 2012). علاوه بر این ممکن است، نور نحوه درک ما از یک فضا، میزان دوست داشتن ما و احساس ما را تغییر دهد (De Kort, 2019).

نور در فضای آموزشی ترکیبی از نور طبیعی و مصنوعی است. نور روز تأثیر مثبت بیشتری بر دانش‌آموزان دارد (Earthman, 2004; Hescong, 2003; Rittner-Heir, 2002)، اما به همان میزان، نور بیش از حد نیز باعث شرایط نامناسب برای دانش‌آموزان می‌گردد (Singh & Arora, 2014). بنابراین نور روز کنترل شده همراه با نور مصنوعی مناسب برای عملکرد بهتر دانش‌آموزان مناسب‌تر است (McCreery & Hill, 2005). نور روز به دلیل تنوع در مقدار، طیف و توزیع آن به دلیل زمان، آب‌وهوا و مکان متغیر است (Peter Robert Boyce, 2014) به همین دلیل نمی‌توان به تنهایی بر نور طبیعی روز تمرکز نمود.

در بررسی نور مصنوعی دو متغیر سطح روشنایی^۱ و دمای رنگ همبسته^۲ (CCT) باید در نظر گرفته شود (Shamsul, Sia, Ng & Karmegan, 2013). برخی مطالعات نشان داده‌اند که، فضای آموزشی با سطح روشنایی نامناسب (illuminance of 2500 lx)، باعث افت تحصیلی و کاهش نمرات درک مطلب شده و فضایی با روشنایی مناسب (illuminance of 500 lx) سطح بالاتری از نمرات را باعث شده است (March- and, Nardi, Reynolds & Pamoukov, 2014). اما روشنایی با سطحی بالاتر از سطح (lx 5000) نیز تاثیر منفی بر توجه می‌گذارد (Leichtfried et al., 2015). برخی از مطالعات نیز CCT بالاتر را با پردازش شناختی بالاتر و تمرکز بهتر مرتبط دانستند (Keis, Helbig, Streb & Hille, 2014; Mills, Tomkins & Schlagen, 2007)، اما برخی از مطالعات نیز به این نتیجه رسیده‌اند که CCT تاثیری بر توجه یا حافظه ندارد (Smolders & de Kort, 2017; Vandewalle et al., 2007). بنابراین نظر قطعی در این رابطه نمی‌توان بیان نمود. شاید این موضوع به دلیل پیچیدگی فرایندهای اندازه‌گیری باشد.

لامپ فلورسنت 4000k مناسب‌ترین منبع نور برای کلاس درس است (Yan, Guan & Tang, 2012). دمای رنگ بهینه تأثیر قابل توجهی نسبت به روشنایی دارد، زیرا احساس راحتی زیادی را ایجاد می‌کند (Yang & Jeon, 2020). همچنین نور سفید غنی شده با آبی بر عملکرد دانش‌آموزان تأثیر مثبت می‌گذارد (Keis, Helbig, Streb & Hille, 2014). بنابراین نتایج مطالعات نشان داده است که هر عملکرد شناختی به سطح متفاوتی از روشنایی نیاز دارد.

۲) رنگ

مطالعات ثابت کرده‌اند که رنگ‌های محیط‌های معماری تأثیرات فیزیولوژیکی، عاطفی و شناختی بر دانش‌آموزان دارند (Gaines & Curry, 2011; Küller, R., Mikellides & Janssens, 2009; Yang & Jeon, 2020). در واقع، سه عامل محیطی که بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان تأثیر می‌گذارند شناسایی شده‌اند: (۱) سطح تحریک، (۲) فردی‌سازی و (۳) طبیعی بودن، که رنگ وزن قابل توجهی در سطح تحریک دارد که ۲۳٪ از تأثیر محیط بر پیشرفت تحصیلی را توضیح می‌دهد (Barrett, Davies, Zhang & Barrett, 2015). سطح تحریک می‌تواند مرتبط با برانگیختگی باشد، که برخی از نویسندگان آن را به‌عنوان عامل تأثیرگذار بر عملکرد فعالیت‌ها شناسایی کرده‌اند. به عنوان مثال برخی از رنگ‌ها (سبز و آبی در مقابل قرمز) در فضاهای فیزیکی با افزایش قدرت فیزیکی (Hamid & Newport, 1989) و بهبود عملکرد در فعالیت‌های حرکتی (سبز) (Nakshian, 1964) مرتبط هستند.

از سوی دیگر، برخی دیگر از نویسندگان استدلال کرده‌اند که بهترین عملکرد تحصیلی زمانی حاصل می‌شود که دانش‌آموزان به حالت انگیزه تلسیک برسند، که در طول آن بر رسیدن به یک هدف متمرکز هستند؛ این حالت با برانگیختگی پایین مرتبط است (Lewinski, 2015)، که برای آن رنگ‌های طول موج کوتاه، رنگ‌های رنگ سرد، توصیه می‌شود (Walters, Apter & Svebak, 1982). در هر صورت، واضح است که انتخاب رنگ مهم است. علاوه بر تأثیر آن بر عملکرد، انتخاب مناسب رنگ در محیط یادگیری برای کاهش خستگی چشم، بهبود جهت‌یابی کاربران (Read, Sugawara & Brandt, 1999)، حمایت از فرایندهای توسعه و تسهیل رفتار همکاری بین دانش‌آموزان مهم است (Read, Sugawara & Brandt, 1999).

در چارچوب این دستورالعمل‌ها می‌توان اشاره کرد که فضاهای سفید ممکن است عملکرد ضعیف‌تری تولید کنند. علی‌رغم اینکه رنگ‌های خنثی در اکثر امکانات آموزشی غالب هستند (Premier & Niero, 2010)، این فضاها با کاهش ۲۵ درصدی در کارایی انسان و افزایش ۲۲ درصدی در حواس‌پرتی مرتبط بوده‌اند (Gran- gaard, 1995). از این رو، این رنگ‌ها ممکن است بهترین گزینه نباشند. از این نظر، نشان داده شده است که فضاهای رنگی با انجام خطاهای کمتر در وظایف ویراستاری (Kwallek, Lewis, Lin-Hsiao & Wood-son, 1996) و سرعت اجرای بالاتر وظیفه مرتبط هستند (Cockerill & Miller, 1983). به‌طور کلی، می‌توان گفت که رنگ‌های روشن نشان داده‌اند که بهترین همبستگی را با پیشرفت یادگیری دارند (Barrett, Davies, Zhang & Barrett, 2015).

1 Illuminance level

2 correlated colour temperature

این موضوع به دلیل تاثیر واضح آن بر احساسات و عملکردهای دانش آموزان بوده است (Choi, 2014; Barrett, Zhang, Moffat & Kobbacy, 2013). مطالعه‌ای نشان داده است که خطاهای بیشتری در کارهای خواندن و نوشتن در فضاهای سفید در مقایسه با فضاهای رنگی رخ می‌دهد (Kwallek, 1996). برخی از نویسندگان در رابطه با این که کدام رنگ عملکرد بهتری دارد، به نتیجه‌ی قطعی دست نیافتند و تفاوت‌ها را به سن دانش آموزان مرتبط دانسته‌اند (Barrett, Davies, Zhang & Barrett, 2015; Mahnke, 1996). برخی دیگر بر اهمیت و نوع تکالیف دانش آموزان مرتبط دانسته (Xia et al., 2016)، و برخی میزان برانگیختگی هیجان نسبت به رنگ را موثر دانسته‌اند (Hamid, 1989).

رنگ فضای آموزشی بر احساسات، فیزیولوژی و عملکرد دانش آموزان تاثیر می‌گذارد (Küller, Ballal, Laike, 2009; Mikellides & Tonello, 2006; Mikellides & Janssens, 2009). رنگ باعث کاهش خستگی بینایی، بهبود جهت‌گیری، تسهیل رفتار مشارکتی در بین دانش آموزان نیز می‌گردد و رنگ مناسب کارایی عملکرد شناختی را افزایش می‌دهد (Engelbrecht, 2003). همچنین رنگ یکی از متغیرهایی است که بر حافظه موثر است و نقش مهمی در افزایش عملکرد حافظه ایفا می‌کند (Wichmann, Sharpe & Gegenfurtner, 2002).

حافظه در فضاهایی با ترکیب رنگی کنتراست بالا تقویت می‌شود. کنتراست بالا برجستگی بصری را افزایش می‌دهد، ادراک را تشویق می‌کند و درک فضاهای ناآشنا و عناصر معماری تعبیه شده را بهبود می‌بخشد. همچنین نتایج نشان داده است، که تضاد رنگ در ارزیابی کوتاه فضاها منجر به حافظه و شناخت فضایی می‌شود (Min and Lee, 2020). سطح توجه دانش آموزان با دیوارهای بنفش (5P 7/8) افزایش می‌یابد، سپس رنگ آبی (5B 7/8)، سبز (5G 7/8)، زرد (5y 7/8) و قرمز (5R 7/8) به ترتیب بهترین رنگ‌ها جهت تمرکز است (Duyan & Ünver, 2016). همچنین رنگ‌های سرد در مقابل رنگ‌های گرم، برانگیختگی را افزایش می‌دهند و عملکرد را در وظایف توجه و حافظه افزایش می‌دهند (Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b). فضای آموزشی با دیوارهای سبز رنگ نتایج را در آزمون خاصی از توجه گزینشی پایدار بهبود می‌بخشد (Bernardo, Loupa-Ramos, Matos Silva & Manzo, 2021).

عنصر دیگری از رنگ که باید مورد توجه قرار گیرد، اشباع است که علی‌رغم اهمیت زیادی در ارزیابی ذهنی فضاها، به صورت مجزا و در محیط‌های آموزشی بسیار کم مورد مطالعه قرار گرفته است (Gao & Xin, 2006). تنها یک مطالعه، به طور کلی نشان داده است که مردم کلاس‌های درس با رنگ‌های اشباع را ترجیح می‌دهند (Cubukcu & Kahraman, 2008).

۳) بافت و مصالح

طبق مطالعات فرضیه‌ای مطرح شد، که آوردن طبیعت به محیط ساخته شده ممکن است رفاه ساکنان را بهبود بخشد. محیط چوبی یک مثال بسیار خوب برای این منظور است. محققان دیگر این مفهوم را بررسی کرده‌اند (Burnard & Kutnar, 2015). طبق مطالعات تفاوت در نسبت چوب در دیوار داخلی منجر به پاسخ‌های فیزیولوژیکی متفاوت، به‌ویژه از نظر فعالیت سیستم عصبی خودمختار شده است (Tsunetsugu, Miyazaki, 2005; Sato, 2007). مطالعات نشان داد که ضربان قلب در اتاق ۴۵٪ نسبت چوب به‌طور قابل توجهی افزایش یافت، فشار خون سیستولیک در اتاق ۹۰٪ نسبت چوب کاهش یافت و این دو شاخص در اتاق ۱۰٪ نسبت چوب تغییر نکرد (Sakuragawa, Miyazaki, Kaneko & Makita, 2005). در مطالعه‌ای واکنش‌های فیزیولوژیکی بدن انسان را پس از تماس با چوب بررسی کنند. آن‌ها دریافتند که تماس با چوب احساس ایمنی یا راحتی ایجاد می‌کند و حالت فیزیولوژیکی استرس ایجاد نمی‌کند زیرا هیچ افزایش مرتبطی در اندازه‌گیری‌های فشار خون سیستولیک مشاهده نشد (Sakuragawa, Kaneko & Miyazaki, 2008). همچنین ثابت شده است، که استفاده از چوب برای درمان‌های داخلی در محیط‌های داخلی به‌ویژه در رابطه با شاخص‌های استرس تأثیر مثبتی بر رفاه دارد (Fell, 2010).

فضاهایی که طراحی چوب در آن‌ها صورت گرفته است، خستگی کمتری را نسبت به سایر فضاهای گزارش کرده است. همچنین فضاهایی با طراحی داخلی چوبی بر سیستم عصبی خودمختار، سیستم بینایی و حتی سیستم

تنفسی تاثیر مثبت دارد. هم‌چنین اتاق‌هایی با طراحی چوبی در تنظیم فیزیولوژیکی و سهولت عملکرد به ویژه پس از یک دوره کاری متوالی نقش ارزنده‌ای دارد (Zhang, Lian & Wu, 2017). به همین دلیل به خاطر کاهش استرس باعث افزایش توجه و حافظه در فضای آموزشی می‌گردد.

۴) طول، عرض و ارتفاع

متغیرهای فضایی، مانند اندازه و شکل، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. آن‌ها اغلب بخشی از مقررات فنی ساختمان‌های ملی و منطقه‌ای، با ماهیت توصیه‌ای و اجباری هستند. این مقررات می‌توانند محدوده مقادیر را که متغیرهای طراحی باید با آن‌ها مطابقت داشته باشند، مانند حداقل ارتفاع سقف امکانات آموزشی تعریف کنند. در حالی که در اکثر موارد، مقررات ساختمان‌ها به اندازه کافی انعطاف‌پذیر و گسترده هستند تا انواع مختلف طراحی نهایی را در بر بگیرند، طراحان تا حدی با محدودیت‌های مهمی مواجه هستند. اما باید در نظر گرفت، که متغیرهای فضایی مانند اندازه، شکل و ارتفاع بر عملکرد دانش‌آموزان تاثیر می‌گذارد (Roskos & Neu-2013; Yang, Becerik-Gerber & Mino, 2011; man, 2011). ارتفاع سقف بر نحوه تفسیر اطلاعات توسط کاربران تاثیر می‌گذارد (Meyers-Levy & Rui, 2007). ارتفاع کلاس با رضایت معلم ارتباط مستقیمی دارد (Ahrentzen & Evans, 1984). در مقابل، کودکان در سنین پایین‌تر مدارس، در کلاس‌هایی با سقف‌های پایین‌تر همکاری بهتری دارند (Read & Sugawara, 1999). کلاس‌های درس با سقف‌های بلند می‌توانند مزایای نور بهتر را نفی کنند و به دلیل طنین صدا باعث افزایش مشکلات صوتی می‌شوند (Earthman, 2004). کلاس‌های درس باریک عملکرد شناختی را افزایش می‌دهد، که با سطوح برانگیختگی بالا مرتبط است (Llinares, Castilla & Higuera-Trujillo, 2021a). کلاس‌های درس وسیع‌تر منجر به عملکرد پایین دانش‌آموزان و برانگیختگی هیجان کمتر می‌شود (Llinares, Higuera-Trujillo & Serra, 2021b). علاوه بر این چگونگی حضور و چیدمان مبلمان بر تعاملات دانش‌آموزان (Baum, 2018; Park & Choi, 2014; Ramli, Ahmad & Masri, 2013; Wannarka & Ruhl, 2008) و تجربیات آن‌ها نیز تاثیر می‌گذارد (Earthman, 2002).

فضاهایی با سقف‌های بلندتر زیبا ارزیابی می‌گردند، در مقابل سقف‌های کوتاه و محصور با فعال‌سازی قشر میانی قدامی^۱ (amCC) باعث تصمیم خروج در مخاطب می‌گردد. به طور کلی، ترجیح زیبایی‌شناسی برای فضاهایی با سقف بلندتر، به دلیل فعال‌سازی ساختارهای جداری و جلویی مغز است که کاوش و توجه بصری-فضایی را باعث می‌گردند، و این موضوع نشان می‌دهد که جنبه‌های شناخت فضایی ممکن است به محاسبه اولویت زیبایی‌شناختی برای این موارد کمک کند (Vartanian et al., 2015).

۵) فرم و هندسه

فرم یکی از جنبه‌های اصلی در طراحی معماری است و تصمیم‌گیری در مورد استفاده از کدام فرم‌ها یکی از چالش‌برانگیزترین جنبه‌های فرآیند طراحی است (Madani Nejad, 2007). چند مطالعه رابطه بین شکل معماری و احساسات را بررسی کردند (Bar and Neta, 2006; Madani Nejad, 2007; Shemesh et al., 2017). برخی از این مطالعات سعی کردند خطوط منحنی را با صفت‌هایی مانند "آرام"، "زیبا" و "لطیف-احساسی" تعریف کنند و زوایا را به عنوان "قوی"، "پرانرژی" و "تا حدودی با وقارتر" توصیف کردند (Lund-1935; Hevner, 1935; Poffenberger and Barrows, 1924; holm, 1921). مردم فرم‌های داخلی منحنی را نسبت به فرم‌های مستطیلی ترجیح می‌دهند (Vartanian et al., 2013). برخی مطالعات رابطه شکل‌های شی با تجربه عاطفی را بررسی کرده‌اند و فعال شدن آمیگدالا توسط اشیاء با خطوط تیز را نشان دادند (Bar and Neta, 2007; Ghoshal et al., 2016). در حالی که^۲ (PPA) برای شکل‌هایی با ویژگی‌های مستطیلی فعال است (Nasr et al., 2014)،^۳ (LOC) توسط شکل‌هایی با ویژگی‌های منحنی (Nanda et al., 2013) و نمایش هویت و مکان شی فعال می‌شود (Cichy et al., 2011).

1 anterior midcingulate cortex

2 parahippocampal place area

3 lateral occipital complex

هندسه‌های منحنی تاثیر قوی بر فعالیت در قشر کمربندی قدامی^۱ (ACC) دارد. فضا با فرم مستقیم رضایت و هیجان کمتر و فضای منحنی هیجان بالاتر و توجه بیشتر را باعث می‌شود، و هرچه میزان انحنای فضا کمتر بوده است، لذت و خوشایندی پایین‌تری داشته است. (Banaei, Yazdanfar, Hatami & Gramann, 2017). قضاوت در مورد زیبایی فضاهای داخلی منحنی، منحصراً ACC را فعال می‌کند و این حاکی از آن است که رتبه دلپذیری در این شرایط از فضای داخلی بیشتر بوده است (Vartanian et al., 2013; Shemesh et al., 2017). میان فرم‌های مورد مطالعه و مصالح استفاده شده در آن ارتباط وجود دارد. توجه در فضای داخلی با مصالح ساخته شده از بتن، فولاد و یا شیشه افزایش می‌یابد. هم‌چنین یک فضای مربع یا استوانه‌ای ساخته شده از بتن یادگیری را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، یک فضای مخروطی شکل، فضای شیشه‌ای یا یک فضای مربی و چوبی فرآیندهای شناختی مربوط به تمرکز و حفظ اطلاعات را افزایش می‌دهد (Elbailuomy, Hegazy & Sheta, 2019).

۶) دما و کیفیت هوا

دما و کیفیت هوا مهم‌ترین عوامل زمینه‌ای تعیین کننده فرآیند یادگیری هستند (Choi, Van Merriënboer & Paas, 2014). دمای داخلی و سطوح CO₂ بر عملکرد شناختی تاثیرگذار است (Sarbu & Pacurar, 2015). هم‌چنین شرایط حرارتی محیط عواملی هستند که ممکن است بر پارامترهای قلبی عروقی تاثیرگذار باشد که بر عملکرد شناختی نیز تاثیر می‌گذارد (Siqueira, da Silva, Coutinho & Rodrigues, 2017). دمای هوا بر اساس نوع کار بر دقت وظایف تاثیر می‌گذارد (Jaber, Dejan & Marcella, 2017; Gaber Ahmed, 2017). در حالی که عملکرد شناختی در همه وظایف به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. دقت و توجه دانش‌آموزان در کارهای پیچیده و هوشیاری در دمای هوا ۲۰ درجه بالاتر بهتر بوده است اما بیش‌ترین دقت برای کارهای حافظه در دمای هوا ۲۳ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با ۲۰ و ۲۵ درجه بهتر بوده است (Jaber, Dejan & Marcella, 2017; Gaber Ahmed, 2017; Xiong et al., 2018). بنابراین کیفیت هوای نامناسب با پیامدهای نامطلوب سلامتی، ناراحتی و حواس‌پرتی دانش‌آموزان مرتبط است که باعث تاثیر منفی بر یادگیری دانش‌آموزان می‌گردد (Brink, Loomans, Mobach & Kort, 2020). هم‌چنین دمای بالا در محیط باعث افزایش ضربان قلب دانش‌آموزان می‌شود که بر عملکردهای شناختی آنان تاثیر منفی می‌گذارد (Liu, Lian & Liu, 2008). شرایط گرم، ساکت و نسبتاً روشن برای کارهای حافظه محور. شرایط گرما خنثی، نسبتاً آرام و نسبتاً روشن برای فرآیندهای حل مسئله و شرایط خنک، نسبتاً آرام و روشن برای کارهای توجه محور مناسب هستند (Xiong et al., 2018).

۷) طبیعت‌گرایی

میل ذاتی انسان به طبیعت از زمان قرار گرفتن اولیه ما در معرض طبیعت در طول روند تکاملی خود مرتبط است (Ulrich et al., 1991, Wilson, 1984). تجربه محیط‌های طبیعی با افزایش رفاه روانشناختی و کاهش عوامل خطر برخی از انواع بیماری‌های روانی مرتبط است (Bratman et al., 2019). این ارتباط ناشی از مفهوم بیوفیلیا^۲، که فرضیه ارتباط ذاتی انسان با طبیعت را مطرح می‌کند، به یک رویکرد جدید برای ادغام تجربیات مثبت طبیعت در طراحی محیط ساخته‌شده تبدیل شده است (Kellert, 2018, Kellert, Heerwagen & Mador, 2008). با آوردن طبیعت به فضاهای زندگی و فضاهای آموزشی، مردم می‌توانند زمان و دفعات اتصال خود با عناصر طبیعی را افزایش دهند (Yin and Spengler, 2019). اخیراً، سیستم‌های ارزیابی ساختمان، مانند WELL Living Building Challenge (International WELL Building Institute, 2018) و The 9 Foundations of a Healthy Building (tional Living Future Institute, 2014) بیوفیلیا را به عنوان یک عنصر کلیدی که می‌تواند در محیط داخلی پیاده‌سازی شود تا تأثیر مثبت بر خلق و خو، خواب، سطح استرس و وضعیت روانشناختی داشته باشد، در دسته‌های طراحی خود قرار داده‌اند (Allen et al., 2017). هم‌چنین اولریش دو نظریه اصلی در رابطه با طبیعت‌گرایی دارد، که از دیدگاه روانشناسی محیطی ناشی می‌شود و این‌گونه بیان می‌دارد: نظریه بازیابی توجه^۳ (ART³) و نظریه کاهش استرس^۴ (SRT⁴). نظریه بازیابی توجه بیان

1 anterior cingulate cortex

2 biophilia

3 attention recovery theory

4 stress reduction theory

می‌کند که محیط طبیعی یک «جذابیت نرم»^۱ ارائه می‌کند که افراد را قادر می‌سازد تا بدون زحمت تمرکز کنند. این نظریه بیان می‌کند، که حضور طبیعت پاسخ‌های روانشناختی تکاملی مرتبط با ایمنی و بقا را به همراه دارد. از این رو قرار گرفتن در معرض طبیعت، سیستم عصبی پاراسمپاتیک^۲ انسان را فعال می‌کند و استرس روانی فیزیولوژیکی انسان را کاهش می‌دهد (Ulrich et al., 1991). هم‌چنین مداخلات بیوفیلیک می‌تواند به بهبود خلاقیت کمک کند (Yin et al., 2019).

نتایج مرور

در میان مولفه‌های معماری نور (روشنایی^۳ و دمای رنگ نور^۴) بیشترین تأثیر را بر عملکردهای آزمون‌های توجه و حافظه دارد (Nolé Fajardo, Higuera-Trujillo & Llinares, 2023). این موضوع در نتایج تحقیقات دیگر نیز مورد تأیید قرار گرفته است (Hygge & Knez, 2001; Keis, Helbig, Streb & Hille, 2014; Knez & Kers, 2000). اهمیت نسبی تأثیر نور بر یادگیری در مقایسه با سایر عناصر طراحی ممکن است به دخالت مستقیم نور در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی داخلی، مانند ریتم‌های شبانه‌روزی و سطوح کورتیزول^۵ (Rea, Figueiro & Bullough, 2002; Tähkämo, Partonen & Pesonen, 2019) به فعال‌سازی و بهبود عملکرد شناختی (Gabel et al., 2013)، و فرآیندهای روانشناختی توجه (Studer et al., 2019) مرتبط باشد. هم‌چنین تأثیر نور بر فعالیت انسان، قابل درک و لمس می‌باشد و تأثیر آن در فضای آموزشی بیشتر مشهود است (Huang et al., 2020). نور نقش مهمی در فیزیولوژی انسان دارد (Pilorz, Helfrich-Forster & Oster, 2018). معیار رنگ، بعد از نور بیشترین تأثیر را بر عملکردهای شناختی در فضاهای آموزشی دارد و در نهایت هندسه کمترین تأثیر بر عملکردهای شناختی را دارد (Nolé Fajardo, Higuera-Trujillo & Llinares, 2023). به طور کلی هر مولفه دارای تأثیر بر عملکردهای شناختی بوده است، که می‌توان با طراحی مناسب طبق جدول ۵ به بهینه‌سازی یادگیری در فضای آموزشی دست یافت.

جدول ۵- نتایج مرور

مولفه معماری	سال/نویسنده	توجه	حافظه	هیجان
نور	Yang & Jeon, 2020	-	درجه حرارت مطلوب نورپردازی رنگ برای فضاهای آموزشی 4000K است. رضایت، پذیرش و ادراک تحت تأثیر قرار می‌گیرند. دمای رنگ بهینه نسبت به روشنایی تأثیر بیشتری بر یادگیری دارد.	-
	McCreery & Hill, 2005	افزایش توجه همراه با نور روز کنترل شده و با ترکیب نور مصنوعی مناسب است.	-	-
	Marchand et al., 2014	روشنایی مناسب (illuminance of 500 lx) همراه با افزایش سطح توجه بوده است.	روشنایی مناسب (illuminance of 500 lx) همراه با افزایش سطح حافظه بوده است.	-

1 soft charm

2 parasympathetic

3 illuminance

4 colour temperature

5 cortisol

مؤلفه معماری	سال/نویسنده	توجه	حافظه	هیجان
رنگ	Duyan & Ünver, 2016	رنگ مناسب به ترتیب دیوارهای بنفش (5P) 7/8، سپس رنگ آبی (5B 7/8)، سبز (5G) 7/8، زرد (5y 7/8) و قرمز (5R 7/8) برای افزایش سطح توجه می‌باشد.	-	-
	Llinares et al., 2021b	توجه در کلاس‌هایی با رنگ‌های سرد (بین سبز مایل به زرد و بنفش، مایل به زرد و بنفش، 5P، 5BG، 5GY و 5P) افزایش می‌یابد.	کلاس‌های درس با رنگ‌های سرد (بین سبز مایل به زرد و بنفش، 5P، 5BG، 5GY و 5P) باعث افزایش حافظه می‌شود.	-
	Min and Lee, 2019	-	فضاهایی با ترکیب رنگی با کنتراست بالا باعث افزایش حافظه می‌گردد.	-
بافت و مصالح	Zhang et al., 2017	فضای داخلی با مصالح چوب باعث افزایش توجه می‌گردد.	-	فضاهای داخلی با مصالح چوب باعث کاهش تنش و خستگی، تنظیم فیزیولوژیک و سهولت عملکرد می‌شود.
طول، عرض و ارتفاع	Llinares et al., 2021a	عرض کلاس بر معیارهای توجه روان‌شناختی و عصبی فیزیولوژیکی تأثیر گذار است. کلاس‌های درس وسیع باعث عملکرد ضعیف‌تر می‌گردد.	عرض کلاس به طور قابل توجهی بر معیارهای حافظه روان‌شناختی و فیزیولوژیکی عصبی تأثیر گذار است. کلاس‌های درس وسیع باعث عملکرد ضعیف‌تر می‌گردد.	-
	Meyers-Levy and Rui, 2007	-	فضای با سقف بلند در درجه اول پردازش منطقی را تحریک می‌کند، و فضای با سقف کوتاه، پردازش خاص حافظه را تحریک می‌کند.	-
	Vartanian et al., 2015	فضاهایی با سقف بلند و هندسه منحنی جذابیت بیشتری دارند و مناطق درگیر در ادراک بصری و فضایی و توجه را تحریک می‌کنند. محدودیت حرکت و میدان دید محدود، مانند فضاهای با سقف کم، واکنش‌های احساسی را تحریک می‌کند که تصمیمات خروج را افزایش می‌دهد.	-	اتاق‌ها با سقف‌های بلندتر به عنوان فضای زیبا ارزیابی شده‌اند سقف‌های کوتاه و محصور تصمیم به خروج را به مخاطب القا کرده‌اند.

مؤلفه معماری	سال/نویسنده	توجه	حافظه	هیجان
فرم و هندسه	Banaei et al., 2017	فضای داخلی منحنی باعث افزایش سطوح شناختی و توجه بالاتر و فضای داخلی مستطیل رضایت و هیجان کمتری را باعث می‌گردد.	-	فضای داخلی منحنی باعث برانگیختگی هیجان و لذت و تمایل بیشتر به فضا می‌گردد.
	Elbailuomy et al., 2019	توجه در فضای داخلی ساخته شده از فولاد، بتن یا شیشه افزایش می‌یابد.	حافظه در یک فضای مربع یا استوانه‌ای ساخته شده از بتن - افزایش تمرکز و نگهداری اطلاعات در فضاهای مخروطی، شیشه‌ای و فضاهای مربعی و چوبی افزایش می‌یابد.	-
	Vartanian et al., 2013; Shemesh et al., 2017	-	-	رتبه‌ی دلپذیری و هیجان فضا با انحنا بیشتر افزایش می‌یابد.
دما و کیفیت هوا	Xiong et al., 2018	گرما خنثی، نسبتاً ساکت و نسبتاً روشن شرایط فیزیکی بهینه برای فرآیندهای حل مسئله هستند، در حالی که خنک، نسبتاً آرام و روشن شرایط فیزیکی مطلوب برای کارهای توجه محور هستند.	گرما، ساکت و روشن شرایط فیزیکی بهینه برای کارهای مبتنی بر ادراک هستند، در حالی که گرم، آرام و روشنایی متوسط شرایط فیزیکی مطلوب برای کارهای حافظه محور هستند.	-
طبیعت‌گرایی	Yin et al., 2019	طبیعت‌گرایی در طراحی فضای داخلی باعث افزایش توجه می‌گردد.	-	طبیعت‌گرایی در طراحی داخلی باعث کاهش استرس و افزایش خلاقیت می‌گردد.

بحث

توجه و حافظه به عنوان عملکردهای شناختی، حوزه بسیار مهمی از کار در تحقیقات فضاهای آموزشی هستند (Bernabéu, Universidad & De Vitoria, 2017). فرآیندهای توجه و حافظه در فعال‌سازی سایر فرآیندهای شناختی مانند خلاقیت نقش دارند، که در آموزش و یادگیری قرن بیست و یکم ضروری تلقی می‌شود و به عنوان یک مهارت اساسی برای سازگاری با دنیای مدرن در تحول مداوم و سریع فرض می‌شود (Llinares et al., 2021c). این موضوع ثابت شده است، که بدون بررسی نحوه طراحی فضاهای فیزیکی مورد استفاده برای ارائه آموزش و تأثیر آن‌ها بر یادگیری، نمی‌توان یادگیری را بهبود بخشید (Cajochen, 2007). با این حال، این کار بسیار پیچیده است زیرا طبق مطالعات شامل عوامل بسیاری مانند فضا، دما، صدا، کیفیت هوا، مبلمان و نور و غیره می‌شود (Ru et al., 2019).

هر یک از مطالعات دارای نتایج ارزشمندی بوده‌اند، اما دارای چالش‌هایی نیز هستند. در برخی از مطالعات از روش سنتی مانند مقیاس رتبه‌بندی خودارزیابی یا پرسش‌نامه استفاده شده است. اما این روش‌ها به تنهایی برای کمی کردن و مقایسه و توضیح اثرات کافی نمی‌باشند (Agnello, Ryan & Yusko, 2015). هم‌چنین بدن انسان قبل از پردازش آگاهانه ورودی به یک محرک واکنش نشان می‌دهد (Eberhard, 2009). علاوه بر این، چنین ارزیابی‌هایی به دلیل زبان مورد استفاده، تفاوت‌هایی را در گروه‌های فرهنگی مختلف در آزمون‌ها ایجاد می‌کند (Öhman, Flykt & Lundqvist, 2000). البته چگونگی تأثیر محیط ساخته شده بر ادراک، به طور

سیستماتیک و دارای چارچوب تعریف نشده و عموماً از روش‌های مختلفی جهت بررسی آن استفاده می‌کنند. اما جهت دریافت پاسخ مناسب باید علاوه بر روش‌های خودارزیابی از روش‌های عصب‌شناسی نیز بهره برد تا کامل‌ترین پاسخ ارائه گردد. در میان ابزارهای عصب‌شناسی EEG و fMRI بیشترین کاربرد را در مطالعات داشته است.

چالش دیگر در رابطه با تفاوت‌های جنسیت زن و مرد بوده است. نتایج نشان داد که عناصر طراحی تفاوت‌های قابل‌توجهی مبتنی بر جنسیت ایجاد می‌کنند، همانطور که در مطالعات قبلی مشاهده شد (Lu, Li, Xu & Lin, 2019; Nolé Fajardo, Higuera-Trujillo & Llinares, 2023). مردان نسبت به زنان فضا را متفاوت درک می‌کنند (Bosco, Longoni & Vecchi, 2004; Coluccia & Louse, 2004). مردان و زنان اطلاعات عناصر طراحی داخلی را که از محیط می‌گیرند به روش‌های مختلف پردازش می‌کنند (Picucci, Caffò & Bosco, 2011). باید این موضوع را نیز در نظر گرفته که مردان و زنان تفاوت‌های زیادی در درک محیطی از نظر ترجیح رنگ دارند (Fortmann-Roe, 2013)، و به تغییرات دمای رنگ نیز واکنش متفاوتی نشان می‌دهند (Lu, Li, Xu & Lin, 2019). زنان نسبت به مردان قادر به تشخیص رنگ‌های تیره‌تر هستند (Correa et al., 2007)، و درک رنگ‌ها میان زنان و مردان متفاوت است (Hurlbert & Ling, 2012)، هم‌چنین ترجیح آن‌ها نیز متفاوت بوده است (Jalil, Yunus & Said, 2013). علاوه بر این، زنان حساسیت بیشتری به تابش خیره‌کننده در نور کلاس از خود نشان داده‌اند (Yang & Jeon, 2020). عملکرد حافظه‌ی بلند مدت با توجه به جنسیت بسته به نوع نور محیط نیز متفاوت است (Knez, 2001). در رابطه با احساس دما نیز متفاوت بوده‌اند، دانش‌آموزان دختر بیشتر از دانش‌آموزان پسر احساس سرما می‌کنند (Kooi, Loomans & Mishra, 2017). بنابراین شاید تأثیر معیارهای طراحی فضاهای آموزشی بر هر دو جنسیت به طور کامل یکسان نباشد و برخی تفاوت‌های جزئی در آن‌ها دیده شود.

برخی از مطالعات در محیط واقعی و برخی در محیط آزمایشگاهی صورت گرفته است. با این حال هر دو روش دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. در ابتدا مطالعات در محیط واقعی نمی‌توانند در کلاس‌های درس، دیگر متغیرها را کنترل و یا جدا کنند، و مطالعات در محیط آزمایشگاهی نیز بسیاری از مولفه‌ها را حذف می‌کند که می‌توانند در محیط واقعی بر نتایج آزمایش تأثیر داشته باشند. در همه مطالعات، قابل توجه است که هر یک از عناصر فضایی به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرند و نتایجی ارائه می‌دهند که چندان تعیین‌کننده نیستند، زیرا مجموعه یکپارچه متغیرهایی را که به ویژگی‌های فضا کمک می‌کنند، در نظر نمی‌گیرند. به همین دلیل، مطالعاتی مورد نیاز است تا تجزیه و تحلیل شود که چگونه چندین متغیر طراحی می‌توانند بر شناخت فرد تأثیر بگذارند و تشخیص آنهایی که تأثیر بیشتری بر رفتار آن‌ها دارند، ممکن می‌سازد. برخی از مطالعات بر اساس نقاط مورد علاقه مندرج از طریق وظایف با ماهیت توجه، با توجه کمی به حافظه فعال، که بسیار در فرآیند عملکرد شناختی دخیل است، انجام شده است. ضمناً توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که پژوهش در این زمینه به ویژگی‌های موضوع توجه چندان‌ی ندارد. سن آزمودنی با توجه به اینکه یادگیری یک فرآیند رشد مستمر است که در طول زمان تغییر می‌کند بسیار مهم است. بیشتر مطالعات بر آموزش پایه در سنین پایین تمرکز می‌کنند و از پیشرفت‌هایی که ممکن است در آموزش عالی در سطح دانشگاه رخ دهد غفلت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت عملکردهای شناختی در فرایند یادگیری، پژوهش حاضر نشان داد که طراحی فضای معماری آموزشی می‌تواند نقش مهمی در بهبود توجه، حافظه، و هیجان داشته باشد. نتایج این پژوهش بر اساس مرور سیستماتیک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ حاکی از آن است که مولفه‌های طراحی هم‌چون نور، رنگ، بافت و مصالح، ابعاد فضا، فرم و هندسه، دما و کیفیت هوا، و عناصر طبیعت‌گرایی تأثیر قابل توجهی بر عملکردهای شناختی یادگیری دارند.

این پژوهش نشان داد که محیط فیزیکی می‌تواند به شکل ناخودآگاه بر نحوه یادگیری و کارکردهای شناختی دانش‌آموزان تأثیر بگذارد. با درک عمیق‌تر از این تأثیرات، می‌توان راهبردهای طراحی مؤثرتری برای بهینه‌سازی فضای آموزشی ارائه داد که نه تنها به بهبود کارکردهای شناختی توجه، حافظه و هیجان

کمک کند، بلکه محیطی فراهم کند که ارتقای کیفیت آموزش و تجربه یادگیری را ممکن سازد. استفاده از علوم اعصاب به عنوان ابزاری برای شناسایی فعالیت‌های شناختی در فضاهای آموزشی نیز به پژوهشگران و طراحان این امکان را می‌دهد که با داده‌های علمی و دقیق‌تری، فضای آموزشی بهینه‌تری طراحی کنند. بنابراین، توجه به طراحی فضای معماری آموزشی نه تنها باید در اولویت قرار گیرد، بلکه باید به عنوان یک عامل کلیدی در بهبود عملکردهای شناختی و کیفیت کلی آموزش در نظر گرفته شود.

فهرست منابع

- Agnello, P., Ryan, R., & Yusko, K. P. (2015). Implications of modern intelligence research for assessing intelligence in the workplace. *Human Resource Management Review*, 25(1), 47–55.
- Ahrentzen, S., & Evans, G. W. (1984). Distraction, privacy, and classroom design. *Environment and Behavior*, 16(4), 437–454.
- Alamirah, H., Schweiker, M., & Azar, E. (2022). Immersive virtual environments for occupant comfort and adaptive behavior research—A comprehensive review of tools and applications. *Building and Environment*, 207, 108396.
- Allen, J. G., Bernstein, A., Cao, X., Eitland, E., Flanagan, S., Gokhale, M., ... & Yin, J. (2017). The 9 foundations of a healthy building. *Harvard: School of Public Health*.
- Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., & Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 1–11.
- Areces, D., Dockrell, J., Garcia, T., Gonzalez–Castro, P., & Rodriguez, C. (2018). Analysis of cognitive and attentional profiles in children with and without ADHD using an innovative virtual reality tool. *PloS one*, 13(8), e0201039.
- Armougum, A., Orriols, E., Gaston–Bellegarde, A., Joie–La Marle, C., & Piolino, P. (2019). Virtual reality: A new method to investigate cognitive load during navigation. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101338.
- Baloch, A. A., Shaikh, P. H., Shaikh, F., Leghari, Z. H., Mirjat, N. H., & Uqaili, M. A. (2018). Simulation tools application for artificial lighting in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3007–3026.
- Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., & Gramann, K. (2017). Walking through architectural spaces: The impact of interior forms on human brain dynamics. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 477.
- Bar, M., and Neta, M. (2006). Humans prefer curved visual objects. *Psychol. Sci.* 17, 645–648.
- Barkmann, C., Wessolowski, N., & Schulte–Markwort, M. (2012). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & behavior*, 105(3), 621–627.
- Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2013). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and environment*, 59, 678–689.
- Bratman, G. N., Anderson, C. B., Berman, M. G., Cochran, B., De Vries, S., Flanders, J., ... & Daily, G. C. (2019). Nature and mental health: An ecosystem service perspective. *Science advances*, 5(7), eaax0903.
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133.
- Başar, E., Başar–Eroğlu, C., Karakaş, S., & Schürmann, M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG?. *Neuroscience letters*, 259(3), 165–168.

- Baum, E. J. (2018). Learning space design and classroom behavior. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 17(9), 34–54.
- Bellazzi, A., Bellia, L., Chinazzo, G., Corbisiero, F., D'Agostino, P., Devitofrancesco, A., ... & Salamone, F. (2022). Virtual reality for assessing visual quality and lighting perception: A systematic review. *Building and Environment*, 209, 108674.
- Bernabéu, E., Universidad, B., & De Vitoria, F. (2017). Attention and Memory: Critical processes for learning. Applications for educational environments. *ReiDoCrea*, 6, 16–23.
- Bernardo, F., Loupa-Ramos, I., Matos Silva, C., & Manso, M. (2021). The restorative effect of the presence of greenery on the classroom in children's cognitive performance. *Sustainability*, 13(6), 3488.
- Blackmore, J., Bateman, D., Loughlin, J., O'Mara, J., & Aranda, G. (2011). Education Policy and Research Division Department of Education and Early Childhood Development Melbourne June 2011.
- Blatchford, P., Bassett, P., & Brown, P. (2011). Examining the effect of class size on classroom engagement and teacher–pupil interaction: Differences in relation to pupil prior attainment and primary vs. secondary schools. *Learning and instruction*, 21(6), 715–730.
- Bosco, A., Longoni, A. M., & Vecchi, T. (2004). Gender effects in spatial orientation: Cognitive profiles and mental strategies. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 18(5), 519–532.
- Bower, I., Tucker, R., & Enticott, P. G. (2019). Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review. *Journal of environmental psychology*, 66, 101344.
- Brink, H. W., Loomans, M. G., Mobach, M. P., & Kort, H. S. (2020). Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: A systematic literature review. *Indoor air*, 31(2), 405–425.
- Burnard, M. D., & Kutnar, A. (2015). Wood and human stress in the built indoor environment: a review. *Wood science and technology*, 49, 969–986.
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep medicine reviews*, 11(6), 453–464.
- Cardellino, P., Araneda, C., & García Alvarado, R. (2018). Interventions in the classroom—the influence of spatial organisation on educational interaction in Uruguay. *Architectural engineering and design management*, 14(6), 413–426.
- Carew, T. J., & Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to guide 21st century learning. *Neuron*, 67(5), 685–688.
- Castilla, N., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2023). The effects of illuminance on students' memory. A neuroarchitecture study. *Building and Environment*, 228, 109833.
- Choi, H. H., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. (2014). Effects of the physical environment on cognitive load and learning: Towards a new model of cognitive load. *Educational psychology review*, 26, 225–244.
- Choo, H., Nasar, J. L., Nikrahei, B., & Walther, D. B. (2017). Neural codes of seeing architectural styles. *Scientific reports*, 7(1), 40201.
- Cichy, R. M., Chen, Y., and Haynes, J.-D. (2011). *Encoding the identity and location of objects in human LOC*. *Neuroimage* 54, 2297–2307.
- Cockerill, I. M., & Miller, B. P. (1983). Children's colour preferences and motor skill performance with variation in environmental colour. *Perceptual and Motor Skills*, 56(3), 845–846.
- Coluccia, E., & Louse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of*

- environmental psychology*, 24(3), 329–340.
- Correa, V., Estupinan, L., Garcia, Z., JIMÉNEZ, O., PRADA, L. F., ROJAS, A., ... & CRISTANCHO, E. (2007). Perception of the visible spectrum: Differences among gender and age. *Revista Med*, 15(1), 7–14.
- Crandell, C. C., & Smaldino, J. J. (2000). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, speech, and hearing services in schools*, 31(4), 362–370.
- Cubukcu, E., & Kahraman, I. (2008). Hue, saturation, lightness, and building exterior preference: An empirical study in Turkey comparing architects' and nonarchitects' evaluative and cognitive judgments. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 33(5), 395–405.
- de Kort, Y. A. D., Ijsselstein, W. A., Kooijman, J., & Schuurmans, Y. (2003). Virtual laboratories: Comparability of real and virtual environments for environmental psychology. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 12(4), 360–373.
- de Kort, Y. A. (2019). Tutorial: Theoretical considerations when planning research on human factors in lighting. *Leukos*, 15(2–3), 85–96.
- Díaz-Orueta, U., Garcia-López, C., Crespo-Eguílaz, N., Sánchez-Carpintero, R., Climent, G., & Narbona, J. (2014). AULA virtual reality test as an attention measure: Convergent validity with Conners' Continuous Performance Test. *Child Neuropsychology*, 20(3), 328–342.
- Duyan, F., & Rengin, Ü. (2016). A research on the effect of classroom wall colours on student's attention. *A | Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 13(2), 73–78.
- Earthman, G. I. (2004). Prioritization of 31 criteria for school building adequacy, american civil liberties union foundation of Maryland. *Accessed online on*, 30, 04–07.
- Eberhard, J. P. (2009). Applying neuroscience to architecture. *Neuron*, 62(6), 753–756.
- Eccles, J. S. (2005). Influences of parents' education on their children's educational attainments: The role of parent and child perceptions. *London review of education*.
- Elbaiuomy, E., Hegazy, I., & Sheta, S. (2019). The impact of architectural spaces' geometric forms and construction materials on the users' brainwaves and consciousness status. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14(3), 326–334.
- Engelbrecht, K. (2003). The impact of color on learning. *Chicago, IL: Perkins & Will*.
- Evans, G. W., & Stecker, R. (2004). Motivational consequences of environmental stress. *Journal of Environmental Psychology*, 24(2), 143–165.
- Fell, D. R. (2010). *Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- Fortmann-Roe, S. (2013). Effects of hue, saturation, and brightness on color preference in social networks: Gender-based color preference on the social networking site Twitter. *Color research & application*, 38(3), 196–202.
- Mallgrave, H. F. (2010). *The architect's brain: Neuroscience, creativity, and architecture*. John Wiley & Sons.
- Gabel, V., Maire, M., Reichert, C. F., Chellappa, S. L., Schmidt, C., Hommes, V., ... & Cajochen, C. (2013). Effects of artificial dawn and morning blue light on daytime cognitive performance, well-being, cortisol and melatonin levels. *Chronobiology international*, 30(8), 988–997.

- Gaber Ahmed, R. M. (2017). *The Effects of Indoor Temperature and CO2 Levels as an Indicator for Ventilation Rates on Cognitive Performance of adult Female Students in Saudi Arabia* (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).
- Gaines, K., & Curry, Z. (2011). The inclusive classroom: The effects of color on learning and behavior. *Journal of Family and Consumer Sciences Education*, 29(1).
- Gao, X. P., & Xin, J. H. (2006). Investigation of human's emotional responses on colors. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 31(5), 411-417.
- Ghoshal, T., Boatwright, P., and Malika, M. (2016). *The Psychology of Design*. Abingdon: Routledge.
- Gilavand, A., & Hosseinpour, M. (2016). Investigating the Impact of educational spaces painted on learning and educational achievement of elementary students in Ahvaz, southwest of Iran. *International Journal of Pediatrics*, 4(2), 1387-1396.
- Grangaard, E. M. (1995). Color and Light Effects on Learning.
- Hamid, P. N., & Newport, A. G. (1989). Effect of colour on physical strength and mood in children. *Perceptual and Motor skills*, 69(1), 179-185.
- Hascher, T. (2010). Learning and emotion: Perspectives for theory and research. *European Educational Research Journal*, 9(1), 13-28.
- Hathaway, W. E. (1995). Effects of school lighting on physical development and school performance. *The Journal of Educational Research*, 88(4), 228-242.
- Heschong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). Daylighting impacts on human performance in school. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), 101-114.
- Heschong, L., & Mahone, D. (2003). Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment. *California Energy Commission*, 37(4), 414-435.
- Hevner, K. (1935). Experimental studies of the affective value of colors and lines. *J. Appl. Psychol.* 19, 385-398.
- Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes, T., & Wood, W. (2015). Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. *Automation in Construction*, 54, 116-126.
- Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P., & McCaughy, C. (2005). The impact of school environments: A literature review. *London: Design Council*.
- Higgins, J. P. (2008). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.0. 1. The Cochrane Collaboration. <http://www.cochrane-handbook.org>.
- Higuera-Trujillo, J. L., Maldonado, J. L. T., & Millán, C. L. (2017). Psychological and physiological human responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360 Panoramas, and Virtual Reality. *Applied ergonomics*, 65, 398-409.
- Higuera-Trujillo, J.L., Llinas, C., Castilla, N. (2018) Urban Design Tools: 360 Panorama for studying pedestrians' perception of safety. In *Proceedings of the 22nd International Congress on Project Management and Engineering*, AEIPRO, Madrid, Spain, 11-13, 591-600.
- Hu, M., Roberts, J. (2020). Built environment evaluation in virtual reality environmentsda cognitive neuroscience approach. *Urban Sci.* 4 (4), 48.
- Huang, Z., Liu, Q., Liu, Y., Pointer, M. R., Liu, A., Bodrogi, P., & Khanh, T. Q. (2020). Gender

- difference in colour preference of lighting: A pilot study. *Light Eng*, 28(4), 111–122.
- Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & De Kort, Y. A. W. (2015). Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance. *Behavioural Brain Research*, 294, 234–245.
- Hurlbert, A., & Ling, Y. (2012). Understanding colour perception and preference. In *Colour Design* (pp. ۱۵۷–۱۲۹). Woodhead Publishing.
- Hygge, S., & Knez, I. (2001). Effects of noise, heat and indoor lighting on cognitive performance and self-reported affect. *Journal of environmental psychology*, 21(3), 291–299.
- Iriarte, Y., Diaz-Orueta, U., Cueto, E., Irazustabarrena, P., Banterla, F., & Climent, G. (2016). AULA—Advanced virtual reality tool for the assessment of attention: Normative study in Spain. *Journal of Attention Disorders*, 20(6), 542–568.
- Isen, A. M., Daubman, K. A., & Nowicki, G. P. (1987). Positive affect facilitates creative problem solving. *Journal of personality and social psychology*, 52(6), 1122.
- Jaber, A. R., Dejan, M., & Marcella, U. (2017). The effect of indoor temperature and CO2 levels on cognitive performance of adult females in a university building in Saudi Arabia. *Energy Procedia*, 122, 451–456.
- Jalil, N. A., Yunus, R. M., & Said, N. S. (2013). Students' colour perception and preference: An empirical analysis of its relationship. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 90, 575–582.
- Jung, N., Wranke, C., Hamburger, K., & Knauff, M. (2014). How emotions affect logical reasoning: evidence from experiments with mood-manipulated participants, spider phobics, and people with exam anxiety. *Frontiers in psychology*, 5, 570.
- Jung, H. C., Kim, J. H., & Lee, C. W. (2017). The effect of the illuminance of light emitting diode (LED) lamps on long-term memory. *Displays*, 49, 1–5.
- Kalantari, S., Rounds, J. D., Kan, J., Tripathi, V., & Cruz-Garza, J. G. (2021). Comparing physiological responses during cognitive tests in virtual environments vs. in identical real-world environments. *Scientific Reports*, 11(1), 10227.
- Karakas, T., & Yildiz, D. (2020). Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review. *Frontiers of Architectural Research*, 9(1), 236–247.
- Keis, O., Helbig, H., Streb, J., & Hille, K. (2014). Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(3–4), 86–92.
- Kellert, S. R. (2018). *Nature by design: The practice of biophilic design*. yale university press.
- Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2011). *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons.
- Knez, I., & Kers, C. (2000). Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior*, 32(6), 817–831.
- Knez, I. (2001). Effects of colour of light on nonvisual psychological processes. *Journal of environmental psychology*, 21(2), 201–208.
- Kooi, L., Loomans, M. G. L. C., & Mishra, A. K. (2017, July). Analysis of student thermal perception evolution in a university classroom during class hour. In *Healthy Buildings Europe 2017, HB 2017* (pp. ۶–۱).
- Kremen, W. S., Beck, A., Elman, J. A., Gustavson, D. E., Reynolds, C. A., Tu, X. M., ... & Franz, C. E. (2019). Influence of young adult cognitive ability and additional education on later-life cognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(6), 2021–2026.

- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., & Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*, 49(14), 1496–1507.
- Küller, R., Mikellides, B., & Janssens, J. (2009). Color, arousal, and performance—A comparison of three experiments. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 34(2), 141–152.
- Kwallek, N., Lewis, C. M., Lin-Hsiao, J. W. D., & Woodson, H. (1996). Effects of nine monochromatic office interior colors on clerical tasks and worker mood. *Color Research & Application*, 21(6), 448–458.
- Latini, A., Di Giuseppe, E., D’Orazio, M., & Di Perna, C. (2021). Exploring the use of immersive virtual reality to assess occupants’ productivity and comfort in workplaces: An experimental study on the role of walls colour. *Energy and Buildings*, 253, 111508.
- Leichtfried, V., Mair-Raggautz, M., Schaeffer, V., Hammerer-Lercher, A., Mair, G., Bartenbach, C., ... & Schobersberger, W. (2015). Intense illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance. *Applied ergonomics*, 46, 54–59.
- Lewinski, P. (2015). Effects of classrooms’ architecture on academic performance in view of telic versus paratelic motivation: a review. *Frontiers in psychology*, 6, 746.
- Llinares, C., Castilla, N., & Higuera-Trujillo, J. L. (2021a). Do attention and memory tasks require the same lighting? A study in university classrooms. *Sustainability*, 13(15), 8374.
- Llinares, C., Higuera-Trujillo, J. L., & Serra, J. (2021b). Cold and warm coloured classrooms. Effects on students’ attention and memory measured through psychological and neurophysiological responses. *Building and environment*, 196, 107726.
- Llinares Millan, C., Higuera-Trujillo, J. L., Montañana i Aviñó, A., Torres, J., & Sentieri, C. (2021c). The influence of classroom width on attention and memory: virtual-reality-based task performance and neurophysiological effects. *Building Research & Information*, 49(7), 813–826.
- Lindblom-Ylänne, S., Pihlajamäki, H., & Kotkas, T. (2003). What makes a student group successful? Student-student and student-teacher interaction in a problem-based learning environment. *Learning environments research*, 6, 59–76.
- Liu, W., Lian, Z., & Liu, Y. (2008). Heart rate variability at different thermal comfort levels. *European journal of applied physiology*, 103, 361–366.
- Lu, Y., Li, W., Xu, W., & Lin, Y. (2019). Impacts of LED dynamic white lighting on atmosphere perception. *Lighting Research & Technology*, 51(8), 1143–1158.
- Lundholm, H. (1921). The affective tone of lines: experimental researches. *Psychol. Rev.* 28, 43–60.
- Madani Nejad, K. (2007). *Curvilinearity in Architecture: Emotional Effect of Curvilinear forms in Interior Design*. Texas, TX: Doctoral Dissertation, Texas A&M University.
- Mahmoudzadeh, P. (2020). *Analyzing Occupants’ Control over Lighting Systems in Office Settings Using Virtual Environments* (Master’s thesis, Bilkent Universitesi (Turkey)).
- Mahnke, F. H. (1996). *Color, environment, and human response: an interdisciplinary understanding of color and its use as a beneficial element in the design of the architectural environment*. John Wiley & Sons.
- Mahlia, T. M. I., Razak, H. A., & Nursahida, M. A. (2011). Life cycle cost analysis and payback period of lighting retrofit at the University of Malaya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2),

1125–1132.

- Marchand, G. C., Nardi, N. M., Reynolds, D., & Pamoukov, S. (2014). The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 187–197.
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., Greco, A., Guixeres, J., Llinares, C., Gentili, C., ... & Valenza, G. (2019). Real vs. immersive–virtual emotional experience: Analysis of psycho–physiological patterns in a free exploration of an art museum. *PloS one*, 14(10), e0223881.
- Matheis, R. J., Schultheis, M. T., Tiersky, L. A., DeLuca, J., Millis, S. R., & Rizzo, A. (2007). Is learning and memory different in a virtual environment?. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 146–161.
- Mavros, P., Conroy Dalton, R., Kuliga, S., Gath Morad, M., Robson, S., & Hölscher, C. (2022). Architectural cognition cards: a card-based method for introducing spatial cognition research and user-centred thinking into the design process. *Architectural Science Review*, 65(2), 120–137.
- Meyers-Levy, J., & Zhu, R. (2007). The influence of ceiling height: The effect of priming on the type of processing that people use. *Journal of consumer research*, 34(2), 174–186.
- McCreery, J., & Hill, T. (2005). Illuminating the classroom environment. *School Planning and Management*, 44(2), 1–3.
- Michael, A., & Heracleous, C. (2017). Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. *Energy and buildings*, 140, 443–457.
- Mills, P. R., Tomkins, S. C., & Schlangen, L. J. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of circadian rhythms*, 5(1), 1–9.
- Min, Y. H., & Lee, S. (2020). Does interior color contrast enhance spatial memory?. *Color Research & Application*, 45(2), 352–361.
- Min, B. K., Jung, Y. C., Kim, E., & Park, J. Y. (2013). Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task. *Brain research*, 1538, 83–92.
- Nanda, U., Pati, D., Ghamari, H., & Bajema, R. (2013). Lessons from neuroscience: form follows function, emotions follow form. *Intelligent Buildings International*, 5(sup1), 61–78.
- Nakshian, J. S. (1964). The effects of red and green surroundings on behavior. *The Journal of General Psychology*, 70(1), 143–161.
- Nasr, S., Echavarria, C. E., and Tootell, R. B. H. (2014). *Thinking outside the box: rectilinear shapes selectively activate scene-selective cortex*. *J. Neurosci.* 34, 6721–6735.
- Newman, M. A. R. K., Gatersleben, B., Wyles, K. J., & Ratcliffe, E. (2022). The use of virtual reality in environment experiences and the importance of realism. *Journal of environmental psychology*, 79, 101733.
- Nolé, M. L., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2021). Effects of classroom design on the memory of university students: from a gender perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9391.
- Nolé Fajardo, M. L. N., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2023). Lighting, colour and geometry: Which has the greatest influence on students' cognitive processes?. *Frontiers of Architectural Research*.
- Poffenberger, A. T., and Barrows, B. E. (1924). The feeling value of lines. *J. Appl. Psychol.* 8, 187–205.
- Pallasmaa, J., Mallgrave, H. F., & Arbib, M. A. (2013). *Architecture and neuroscience*. Tapio Wirkkala–Rut Bryk Foundation.
- Papale, P., Chiesi, L., Rampinini, A. C., Pietrini, P., & Ricciardi, E. (2016). When neuroscience

- 'touches' architecture: From hapticity to a supramodal functioning of the human brain. *Frontiers in psychology*, 7, 866.
- Park, E. L., & Choi, B. K. (2014). Transformation of classroom spaces: Traditional versus active learning classroom in colleges. *Higher Education*, 68, 749-771.
- Parsons, T. D., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2007). A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods. *Child neuropsychology*, 13(4), 363-381.
- Picard, M., & Bradley, J. S. (2001). Revisiting Speech Interference in Classrooms: Revisando la interferencia en el habla dentro del salón de clases. *Audiology*, 40(5), 221-244.
- Picucci, L., Caffò, A. O., & Bosco, A. (2011). Besides navigation accuracy: Gender differences in strategy selection and level of spatial confidence. *Journal of Environmental Psychology*, 31(4), 430-438.
- Pilorz, V., Helfrich-Förster, C., & Oster, H. (2018). The role of the circadian clock system in physiology. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 470, 227-239.
- Premier, A., & Niero, D. (2010). Colour in the Schools. In *Colour and Light in Architecture International Conference, 11-12 November 2010: Proceedings*. Knemesi.
- Radwan, A., & Ergan, S. (2017). Quantifying human experience in interior architectural spaces. In *Computing in Civil Engineering 2017* (pp. ۳۸۰-۳۷۳).
- Ramli, N. H., Ahmad, S., & Masri, M. H. (2013). Improving the classroom physical environment: Classroom users' perception. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 221-229.
- Rea, M. S., Figueiro, M. G., & Bullough, J. D. (2002). Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting research & technology*, 34(3), 177-187.
- Read, M. A., Sugawara, A. I., & Brandt, J. A. (1999). Impact of space and color in the physical environment on preschool children's cooperative behavior. *Environment and Behavior*, 31(3), 413-428.
- Ritter, F. E., Baxter, G. D., Churchill, E. F., Ritter, F. E., Baxter, G. D., & Churchill, E. F. (2014). Cognition: memory, attention, and learning. *Foundations for Designing User-Centered Systems: What System Designers Need to Know about People*, 123-164.
- Rittner-Heir, R. M. (2002). Color and Light in Learning. *School Planning & Management*, 41(2).
- Rizzo, A. A., Schultheis, M., Kerns, K. A., & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological rehabilitation*, 14(1-2), 207-239.
- Roskos, K., & Neuman, S. B. (2011). The classroom environment: First, last, and always. *The Reading Teacher*, 65(2), 110-114.
- Ru, T., de Kort, Y. A., Smolders, K. C., Chen, Q., & Zhou, G. (2019). Non-image forming effects of illuminance and correlated color temperature of office light on alertness, mood, and performance across cognitive domains. *Building and Environment*, 149, 253-263.
- Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T., & Makita, T. (2005). Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *Journal of Wood Science*, 51, 136-140.
- Sakuragawa, S., Kaneko, T., & Miyazaki, Y. (2008). Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *Journal of wood Science*, 54, 107-113.
- Sarbu, I., & Pacurar, C. (2015). Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. *Building and Environment*, 93, 141-154.
- Seli, P., Wammes, J. D., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). On the relation between motivation and retention in educational contexts: The role of intentional and unintentional mind wandering. *Psychonomic*

- bulletin & review*, 23, 1280–1287.
- Shaaban, D. E. A., Kamel, S., & Khodeir, L. (2023). Exploring the architectural design powers with the aid of neuroscience (little architect's adventure). *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102107.
- Shamsul, B. M. T., Sia, C. C., Ng, Y. G., & Karmegan, K. (2013). Effects of light's colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students. *American Journal of Public Health Research*, 1(7), 159–165.
- Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2017). Affective response to architecture—investigating human reaction to spaces with different geometry. *Architectural Science Review*, 60(2), 116–125.
- Shen, L., Wang, M., & Shen, R. (2009). Affective e-learning: Using “emotional” data to improve learning in pervasive learning environment. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(2), 176–189.
- Schneider, M. (2002). Do School Facilities Affect Academic Outcomes?.
- Singh, P., & Arora, R. (2014). Classroom illuminance: Its impact on students' health exposure & concentration performance. In *Proceedings of the International Ergonomics Conference HWWE*.
- Siqueira, J. C., da Silva, L. B., Coutinho, A. S., & Rodrigues, R. M. (2017). Analysis of air temperature changes on blood pressure and heart rate and performance of undergraduate students. *Work*, 57(1), 43–54.
- Sleegers, P. J., Moolenaar, N. M., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B. E., & van der Zande, B. (2013). Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting research & technology*, 45(2), 159–175.
- Smolders, K. C., De Kort, Y. A., & Cluitmans, P. J. M. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology & behavior*, 107(1), 7–16.
- Smolders, K. C., & de Kort, Y. A. (2014). Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of environmental psychology*, 39, 77–91.
- Smolders, K. C., & de Kort, Y. A. (2017). Investigating daytime effects of correlated colour temperature on experiences, performance, and arousal. *Journal of Environmental Psychology*, 50, 80–93.
- Sternberg, E. M., & Wilson, M. A. (2006). Neuroscience and architecture: Seeking common ground. *Cell*, 127(2), 239–242.
- Stojić, H., Orquin, J. L., Dayan, P., Dolan, R. J., & Speekenbrink, M. (2020). Uncertainty in learning, choice, and visual fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(6), 3291–3300.
- Studer, P., Brucker, J. M., Haag, C., Van Doren, J., Moll, G. H., Heinrich, H., & Kratz, O. (2019). Effects of blue- and red-enriched light on attention and sleep in typically developing adolescents. *Physiology & behavior*, 199, 11–19.
- Tähhkämö, L., Partonen, T., & Pesonen, A. K. (2019). Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiology international*, 36(2), 151–170.
- Tanner, C. K. (2000). The influence of school architecture on academic achievement. *Journal of educational administration*, 38(4), 309–330.
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399.
- Thompson, L. A., Detterman, D. K., & Plomin, R. (1991). Associations between cognitive abilities and scholastic achievement: Genetic overlap but environmental differences. *Psychological Science*, 2(3), 158–165.

- Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., & Sato, H. (2007). Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities. *Journal of Wood Science*, 53, 11–16.
- Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., & Sato, H. (2005). Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses. *Building and Environment*, 40(10), 1341–1346.
- Turner, P. L., Van Someren, E. J., & Mainster, M. A. (2010). The role of environmental light in sleep and health: effects of ocular aging and cataract surgery. *Sleep medicine reviews*, 14(4), 269–280.
- Um, E., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning. *Journal of educational psychology*, 104(2), 485.
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of environmental psychology*, 11(3), 201–230.
- Vandewalle, G., Schmidt, C., Albouy, G., Sterpenich, V., Darsaud, A., Rauchs, G., ... & Dijk, D. J. (2007). Brain responses to violet, blue, and green monochromatic light exposures in humans: prominent role of blue light and the brainstem. *PloS one*, 2(11), e1247.
- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L. B., Leder, H., Modroño, C., et al. (2013). Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (110), 10446–10453.
- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L. B., Gonzalez-Mora, J. L., Leder, H., ... Skov, M. (2015). Architectural design and the brain: Effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. *Journal of Environmental Psychology*, (41), 10–18.
- Vuilleumier, P. (2005). How brains beware: neural mechanisms of emotional attention. *Trends in cognitive sciences*, 9(12), 585–594.
- Walters, J., Apter, M. J., & Swebak, S. (1982). Color preference, arousal, and the theory of psychological reversals. *Motivation and emotion*, 6, 193–215.
- Wannarka, R., & Ruhl, K. (2008). Seating arrangements that promote positive academic and behavioural outcomes: A review of empirical research. *Support for learning*, 23(2), 89–93.
- Wei, M., Houser, K. W., Orland, B., Lang, D. H., Ram, N., Sliwinski, M. J., & Bose, M. (2014). Field study of office worker responses to fluorescent lighting of different CCT and lumen output. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 62–76.
- Wichmann, F. A., Sharpe, L. T., & Gegenfurtner, K. R. (2002). The contributions of color to recognition memory for natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 509.
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of environmental psychology*, 29(1), 63–75.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia* ed[^] eds. Mass, Cambridge.
- Xia, T., Song, L., Wang, T. T., Tan, L., & Mo, L. (2016). Exploring the effect of red and blue on cognitive task performances. *Frontiers in Psychology*, 7, 784.
- Xia, G., Henry, P., Queiroz, F., Westland, S., & Yu, L. (2022). Colour—cognitive performance interaction in virtual reality (VR): a study of gender differences. *The Journal of the International Colour Association*, 28, 1–6.
- Xiong, L., Huang, X., Li, J., Mao, P., Wang, X., Wang, R., & Tang, M. (2018). Impact of indoor physical environment on learning efficiency in different types of tasks: A 3×4×3 full factorial design analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1256.

- Yan, Y. H., Guan, Y., & Tang, G. L. (2012). Experimental research of visual performance with different optical spectrum light sources. *Advanced Materials Research*, 433, 6375–6383.
- Yang, Z., Becerik-Gerber, B., & Mino, L. (2013). A study on student perceptions of higher education classrooms: Impact of classroom attributes on student satisfaction and performance. *Building and environment*, 70, 171–188.
- Yang, W., & Jeon, J. Y. (2020). Effects of correlated colour temperature of LED light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment. *Sustainability*, 12(10), 4051.
- Yin, J., Arfaei, N., MacNaughton, P., Catalano, P. J., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2019). Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality. *Indoor air*, 29(6), 1028–1039.
- Yin, J., & Spengler, J. D. (2019). Going biophilic: living and working in biophilic buildings. *Urban Health*, 369–374.
- Zhang, X., Lian, Z., & Wu, Y. (2017). Human physiological responses to wooden indoor environment. *Physiology & behavior*, 174, 27–34.