DOI: 10.22034/ats.2026.2089835.1029

فصلنامه
پژوهش‌های معماری نوین
دوره ۵، شماره ٤، شماره پیاپی ۱۸
زمستان ١٤٠٤
صفحات ۱۸-۷

Architectural Technologies
Studies Journal
Vol. 5, Issue. 4, No. 18
Winter 2026
Pages 7-18

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط شبکه‌های شناختی مغز و خلاقیت در فرآیند طراحی معماری با بهره‌گیری از علوم اعصاب شناختی

جمال اسمعیل‌زاده وفائی[۱]، معصومه بیاتی[۲]، سعید خاقانی[۳]*

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
jamalel67@gmail.com
۲- کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
masih.bayati@yahoo.com
۳- استادیار، گروه معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)
khaghani.saeid@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: [١٤٠٤/١٠/٠٦] تاریخ پذیرش: [١٤٠٤/١١/١٦]

چکیده

طراحی معماری فرایندی پیچیده و شناختی است. فرایندی که به عوامل محیطی و بیرونی و رفتار و عمل نهایی سیستم عصب‌شناختی وابسته است که این سیستم برای رسیدن به اثر نهایی، تعامل مداوم میان تفکر واگرا، تفکر همگرا و تجسم فضایی را می‌طلبد. با وجود توسعه نظریه‌های متعدد در مطالعات طراحی، سازوکارهای عصب‌شناختی زیربنای این فرایندها تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده‌اند. این مقاله با هدف تبیین مبانی عصبی خلاقیت در معماری، به بررسی ارتباط شبکه‌های مغزی با مراحل مختلف طراحی می‌پردازد. روش تحقیق در این پژوهش یک مرور نظام‌مند از مقالات اخیر و مدل‌سازی مفهومی مبتنی بر آزمایش‌های الکتروانسفالوگرافی (EEG) و تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI) در پژوهش‌های نورومعماری (۲۰۲۰–۲۰۲۵) است که به استخراج الگوهای مشترک عصبی در خلاقیت طراحی می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهند که فرایند طراحی ناشی از تعامل پویای سه سیستم اصلی است: سیستم تولیدی یا شبکه حالت پیش‌فرض (DMN)، سیستم ارزیابی یا شبکه کنترل اجرایی (ECN) و سیستم شبیه‌سازی فضایی مرتبط با هیپوکامپ. افزون بر این، پژوهش حاضر مدلی پنج مرحله‌ای برای طراحی معماری ارائه می‌دهد که نقش حیاتی شکنج گیجگاهی میانی (MTG) و هیپوکامپ را در شکل‌گیری مفاهیم نوآورانه و کارآمد اثبات می‌کند. نتایج این پژوهش با ارائه یک چارچوب مفهومی یکپارچه، نشان می‌دهد که طراحی معماری نتیجه یک سیستم حلقوی بین تولید، ارزیابی و شبیه‌سازی است که در بستر تعامل شبکه‌های مغزی شکل می‌گیرد. این یافته‌ها گامی اساسی در جهت گذار از مدل‌های توصیفی به چارچوب‌های عصب‌شناختی است و می‌تواند مبنایی برای توسعه رویکردهای طراحی مبتنی بر داده‌های عصبی در معماری و آموزش طراحی باشد.

واژگان کلیدی: علوم اعصاب شناختی، معماری عصبی، خلاقیت، فرایند طراحی.

۱- مقدمه

طراحی معماری یک مسئله پیچیده است که شامل تولید ایده، ارزیابی و اصلاح مداوم می‌شود (Dorst & Cross, 2001). در دهه‌های اخیر، با ظهور حوزه‌ای میان‌رشته‌ای تحت عنوان «معماری عصبی»، توجه پژوهشگران به چگونگی تأثیر متقابل محیط و مغز معطوف شده است (Eberhard, 2009). برخلاف رویکردهای کلاسیک که خلاقیت را استعدادی یکپارچه می‌دانستند، علوم اعصاب شناختی نشان داده است که خلاقیت شبکه‌ای از فرآیندهای شناختی پیچیده است (Beaty et al., 2016). مطالعات تصویربرداری عصبی، به‌ویژه fMRI، تأیید کرده‌اند که خلاقیت حاصل تعاملات پویا میان شبکه‌های بزرگ مغزی است (Ellamil et al., 2012). در این میان، طراحی معماری نیازمند شکل‌گیری مفاهیمی است که هم‌زمان واجد دو ویژگی بنیادین خلاقیت باشند: نو بودن و سودمندی (Ren et al., 2020). با وجود این پیشرفت‌ها، چگونگی تعامل شبکه‌های شناختی در ذهن طراح در حین فرایند خلق فضای معماری، همچنان یکی از چالش‌های اساسی پژوهشگران است (Attaianese, 2025).

مدل‌های سنتی در مطالعات طراحی، مانند تکامل هم‌زمان مسئله و راه‌حل یا عمل تأملی، اگرچه درک ما را از ماهیت تکرارپذیر طراحی ارتقا داده‌اند، اما فاقد پشتوانه زیست‌شناختی و عصب‌شناختی هستند. مطالعات نشان داده‌اند که خلاقیت به‌طورکلی از طریق تقابل و تعامل شبکه حالت پیش‌فرض (DMN) مرتبط با تداعی آزاد و شبکه کنترل اجرایی (ECN) مرتبط با ارزیابی عمل می‌کند (Beaty et al., 2016). با این حال، معماری به‌طور منحصربه‌فردی نیازمند «شبیه‌سازی فضایی» است که شبکه‌های دیگری از جمله سیستم هیپوکامپ و قشر آهیانه‌ای را درگیر می‌کند (Abbas, 2024; Epstein & Baker, 2019). این سبب شخصی شدن بخشی از فرایند طراحی شود، مدل‌های پیشین آموزش معماری مبتنی بر هوش مصنوعی حتی بر ضرورت شخصی‌سازی یادگیری بر اساس داده‌های شناختی تأکید داشته‌اند (نجاتی، کلانتری و بمانیان، ۱۴۰۰).

مسئله اصلی این پژوهش آن است که مدلی یکپارچه که فرایند طراحی معماری را در سطح مغز، از ادراک اولیه تا ارزیابی کارکردی و تولید مفهوم نهایی تبیین کند، وجود ندارد. به‌طور خاص، مشخص نیست که چگونه هیپوکامپ به‌عنوان مسئول تولید تداعی‌های جدید و شکنج گیجگاهی میانی (MTG) به‌عنوان مسئول پردازش سودمندی، در حین حل مسئله معماری با یکدیگر تعامل کارکردی برقرار می‌کنند (Ren et al., 2020). عدم شناخت دقیق این مکانیسم‌ها مانع از توسعه ابزارهای هوشمند طراحی و فضاهای بهینه‌سازی‌شده برای تفکر خلاق می‌شود.

درک مبانی عصبی فرایند طراحی، پیامدهای عمیقی برای دو حوزه آموزش معماری و عمل حرفه‌ای دارد این پژوهش با تبدیل نظریه‌های توصیفی طراحی به تبیین‌های مکانیسمیِ مبتنی بر مغز، شکاف موجود میان مطالعات طراحی و علوم اعصاب را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، شناخت تفاوت‌های عصبی میان تفکر واگرا و بینش، به معماران کمک می‌کند تا محیط‌هایی مبتنی بر شواهد طراحی کنند که به‌طور انتخابی عملکردهای شناختی کاربران را تقویت نماید. علاوه بر این، نتایج این تحقیق پایه‌ای نظری برای توسعه ابزارهای طراحی مبتنی بر هوش مصنوعی و رابط‌های مغز و رایانه در معماری فراهم می‌آورد.

در ادامه مقاله در پی پاسخ به پرسش‌های تحقیق اصلی زیر است ۱. چه ارتباطی میان شبکه‌های بزرگ‌مقیاس مغز (مانند DMN و ECN) و مراحل مختلف ایده‌پردازی و ارزیابی در معماری وجود دارد؟ ۲. نقش تعاملی هیپوکامپ و شکنج گیجگاهی میانی (MTG) در شکل‌گیری مفاهیم نوآورانه و کارآمد در معماری چیست؟ که با بررسی‌های اولیه **فرضیه‌های تحقیق با دو رویکرد پیشنهاد شد:** فرضیه اول: مرحله تولید ایده به‌شدت با فعال‌سازی شبکه حالت پیش‌فرض (DMN) و حافظه هیپوکامپ همبستگی دارد. فرضیه دوم: طراحی معماری خلاقانه حاصل تعامل و اتصال کارکردی قوی میان هیپوکامپ (مسئول تازگی) و MTG (مسئول کارآمدی) است.

۲- مرور مبانی نظری و پیشینه

مرور مطالعات عصب‌شناختی اخیر، نشان‌دهنده تحولی بنیادین در درک خلاقیت طراحی است:

۲-۱- تفکر واگرا و بینش

مطالعه فراگیر کوانج و همکاران[1] (۲۰۲۲) با استفاده از متاآنالیز ALE نشان داد که تفکر واگرا و بینش از نظر عصبی کاملاً متمایز هستند. تفکر واگرا با فعال‌سازی شبکه پیش‌فرض (DMN) و لوب آهیانه‌ای تحتانی همراه است که با تداعی آزاد مرتبط است، درحالی‌که بینش شبکه کنترل اجرایی (ECN) و نواحی هیجانی نظیر آمیگدال را برای بازساخت شناختی درگیر می‌کند؛ و هیچ همپوشانی معناداری بین این دو یافت نشده است که تأییدکننده نظریه دوفرایندی خلاقیت در مغز است.

بتری و همکاران[2] (۲۰۱٦) در مقاله مروری خود نشان دادند که خلاقیت شناختی نتیجه تعاملات پویا میان سیستم‌های مغزی در مقیاس بزرگ است، با این یافته مهم که شبکه حالت پیش‌فرض و شبکه کنترل اجرایی که معمولاً رابطه‌ای رقابتی نشان می‌دهند، در طول خلاقیت شناختی و عملکرد هنری با یکدیگر همکاری می‌کنند. علاوه بر این، مطالعات رفتاری نیز نشان داده‌اند که سبک یادگیری واگرا (مرتبط با فعال‌سازی DMN) بهترین عملکرد را در خلاقیت طراحی معماری دارد (ملا جعفری و ضرغامی، ۱٤۰۲).

۲-۲- پویایی شبکه‌های مغزی در تجربه خلاق

پژوهش هیو و همکاران[3] (۲۰۲۵) اثبات کرد که خلاقیت نیازمند جابجایی پویا میان شبکه پیش‌فرض (تولید ایده)، شبکه کنترل اجرایی (ارزیابی) و شبکه برجستگی (SN) به‌عنوان تنظیم‌کننده است. سیستم پاداش (RS) نیز با آزادسازی دوپامین، انعطاف‌پذیری شناختی طراح را در طول این فرآیندها حفظ می‌کند.

شبکه حالت پیش‌فرض DMN شامل قشر پیش‌پیشانی میانی (mPFC)، قشر سینگولیت خلفی (PCC)، پری‌کونئوس، لوب آهیانه‌ای تحتانی (IPL)، هیپوکامپ و قشر پاراهیپوکامپال است. این شبکه در حالت استراحت فعال است و با تفکر درونی، بازیابی خودانگیخته حافظه، تداعی‌های آزاد و تفکر واگرا مرتبط است (Beaty et al., 2016; Huo et al., 2025). در مرحله ایده‌پردازی طراحی، فعال‌سازی DMN از طریق تحریک تداعی‌های آزاد و استفاده از حافظه اپیزودیک برای ایجاد ارتباطات جدید بین مفاهیم فضایی، به معمار امکان می‌دهد گزینه‌های طراحی متنوعی را تولید کند. مطالعات ساختاری (VBM) نشان داده‌اند که طراحان حرفه‌ای حجم ماده خاکستری بیشتری در نواحی DMN، به‌ویژه پری‌کونئوس و IPL چپ، دارند (Huo et al., 2025). این یافته با ادعای افزایش ظرفیت تداعی‌های آزاد در افراد خلاق همسو است.

۲-۳- شکل‌گیری مفاهیم جدید (تازگی و سودمندی)

یکی از جامع‌ترین مطالعات در زمینه پایه‌های عصبی خلاقیت طراحی، پژوهش رن و همکاران[4] (۲۰۲۰) در مجله NeuroImage است. این مطالعه با استفاده از fMRI و طراحی محرک‌های سه‌گانه (طرح‌های آشنا–مفید، جدید–مفید و جدید–بی‌فایده)، نشان داد که هیپوکامپ عمدتاً به تازگی پاسخ می‌دهد و تداعی‌های جدید را رمزگذاری می‌کند، در حالی که MTG نقش کلیدی در ادغام تازگی و سودمندی برای شکل‌گیری مفاهیم خلاقانه دارد. اتصال عملکردی بین MTG و هیپوکامپ در شرایط ایده‌های نوآورانه کارآمد به‌طور معناداری افزایش یافت. تحلیل MVPA تأیید کرد که MTG می‌تواند بین ایده‌های کارآمد و ناکارآمد تمایز قائل شود، درحالی‌که MTL (لوب گیجگاهی میانی) این توانایی را نداشت. این یافته‌ها دارای پیامدهای مستقیم برای درک فرایند طراحی معماری هستند: هنگامی که یک معمار ایده‌ای نوآورانه و کارآمد ارائه می‌دهد، سیستم هیپوکامپ–MTG در مرکز این فرایند قرار دارد.

---

[1] Kuang et al
[2] Beaty et al
[3] lHuo et a
[4] Ren et al

مطالعه کلیدی رن و همکاران (۲۰۲۰) مشخص کرد که ارزیابی ویژگی نو بودن عمدتاً هیپوکامپ را فعال می‌کند، درحالی‌که ویژگی سودمندی شبکه‌های پیشانی و شکنج گیجگاهی میانی (MTG) را درگیر می‌سازد. تحلیل نشان داد که MTG پل ارتباطی میان پردازش تازگی و ارزیابی سودمندی است و تعامل تعاملی هیپوکامپ–شبکه پیشانی میانی منجر به شکل‌گیری یک مفهوم خلاقانه و کارآمد می‌شود.

۲-٤- علوم اعصاب در طراحی معماری (نورومعماری)

دجبرا و همکاران[1] (۲۰۲۰) با استفاده از چارچوب پردازش پیش‌بینانه (Predictive Processing) نشان دادند که مغز در مواجهه با فضاهای معماری، مداوم انتظارات فضایی را شکل می‌دهد و تجربه فضایی یک فرایند بدن‌مند است که از طریق تعامل عمل-ادراک به‌وسیله فرصت‌های کنش (Affordances) هدایت می‌شود. آن‌ها همچنین یک چارچوب «نوروفنومونولوژی محاسباتی» را برای مطالعه معماری و علوم اعصاب شناختی پیشنهاد کردند.

چن و همکاران[2] (۲۰۲۰) در متاآنالیز ALE خود بر روی سه شکل خلاقیت هنری (موسیقی، طراحی و ادبیات)، یک الگوی حوزه-عمومی را با خوشه‌های همپوشان در pre-SMA، DLPFC چپ و IFG راست، همراه با الگوهای حوزه-ویژه برای هر شکل هنری شناسایی کردند که نشان می‌دهد خلاقیت هنری دارای یک سیستم مرکزی حوزه-عمومی است، اما هر حوزه تا حدی به مدارهای عصبی حوزه-ویژه متکی است.

جدول ۱: خلاصه مقالات کلیدی پیشینه تحقیق

ارتباط با طراحی	یافته کلیدی	روش	مجله	پژوهشگر/سال
تمایز مرحله ایده‌پردازی از ارزیابی	تفکر واگرا و بینش مسیرهای عصبی کاملاً متمایز دارند؛ DMN در DT، ECN در Insight	متاآنالیز ALE – ۵۷ مطالعه fMRI	Human Brain Mapping (Q۱)	Kuang et al. (2022)
چارچوب شبکه‌ای فرایند طراحی	DMN و ECN در طول خلاقیت همکاری می‌کنند نه رقابت	fMRI - resting state & task	Trends in Cognitive Sciences (Q۱)	Beaty et al. (2016)
تولید ایده‌های خلاقانه کارآمد در طراحی	هیپوکامپ و MTG در ادغام تازگی و سودمندی نقش کلیدی دارند	fMRI + MVPA + PPI	NeuroImage (Q۱)	Ren et al. (2020)
تأثیر زیبایی‌شناسی فضا بر خلاقیت معماری	تجربه زیبایی‌شناختی از طریق DMN، SMN، SN، ECN و RS خلاقیت را افزایش می‌دهد	مرور نظام‌مند fMRI/EEG	European Journal of Medical Research (Q۱)	Huo et al. (2025)
ابزار اندازه‌گیری عصبی در طراحی مشارکتی	فضاهای زیبایی‌شناختی alpha/theta را افزایش و عملکرد خلاقانه را بهبود می‌دهند	+ EEG + VR آزمون خلاقیت	Intelligent Buildings International (Q۱)	Taherysayah et al. (2025)
کاربردهای عملی نوروسایینس در طراحی	چارچوب مفهومی نوروسایینس در طراحی و انتقال به تصمیم‌گیری	مرور و تحلیل	Buildings (Q۱)	Attaianese (2025)
پایه نظری نوروآرکیتکچر	نوروآرکیتکچر ادغام ادراک شناختی–هیجانی محیط ساخته‌شده را بررسی می‌کند	مرور دامنه‌ای	Sensors (Q۱)	Higuera-Trujillo et al. (2021)
کاربرد مستقیم در ایده‌پردازی معماری	نظریه‌های بیوفیلیا و چشم‌انداز–پناهگاه در شکل‌گیری ایده فضایی	تحلیل نظری + EEG	IJAAA	Mashchenko (2025)

[1] Djebbara et al
[2] Chen et al

۳- روش‌شناسی

این پژوهش از نوع مرور تحلیلی و مدل‌سازی مفهومی است. داده‌های EEG و fMRI در این پژوهش به‌عنوان چارچوب پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده مطرح شده‌اند. بخش کیفی پژوهش بر مرور نظام‌مند مطالعات معتبر و استخراج الگوهای عصبی مشترک در خلاقیت طراحی استوار است.

بخش کیفی (مرور سیستماتیک): در این بخش، مقالات معتبر منتشر شده در فاصله سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ مورد تحلیل سیستماتیک قرار گرفتند تا شبکه‌های مغزی مشترک در فرایندهای خلاقیت استخراج شوند. جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های داده PubMed، Google Scholar، Web of Science، Scopus و ScienceDirect انجام شد. معیارهای ورود عبارت بودند از: مطالعات منتشرشده در مجلات Q۱ معتبر؛ استفاده از ابزارهای نوروایمیجینگ (fMRI، EEG، MEG، fNIRS) یا مرور نظام‌مند این مطالعات؛ ارتباط با موضوعات خلاقیت، فرایند طراحی، ادراک فضایی یا معماری عصب محور.

چارچوب پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده (کمی): به‌منظور آزمون تجربی مدل مفهومی ارائه‌شده در پژوهش‌های آتی، چارچوبی ترکیبی از الکتروانسفالوگرافی (EEG)، تصویربرداری fMRI و واقعیت مجازی (VR) پیشنهاد می‌شود که بر اساس متدولوژی‌های نوین تصویربرداری عصبی طراحی شده است (Taherysayah et al., 2025). در این چارچوب پیشنهادی، داده‌های رفتاری و داده‌های عصبی طراحان در حین حل مسائل طراحی فضایی ثبت و با استفاده از تحلیل MVPA و PPI تحلیل خواهند شد (Ren et al., 2020). این رویکرد با یافته‌های پیشین همسو است که واقعیت مجازی را مؤثرترین روش برای درک تفسیری فضای معماری معرفی کرده‌اند (بهادری و شعرباف، ۱٤۰۳).

٤- یافته‌ها

ترکیب داده‌های حاصل از علوم اعصاب شناختی و مطالعات طراحی، منجر به تدوین چارچوب طراحی عصبی–شناختی می‌شود که «مدل نوروشناختی فرایند طراحی» نشان‌دهنده یک چرخه ۵ لایه است:

٤-۱- مدل پنج لایه‌ای

این مدل نشان می‌دهد طراحی معماری از یک حلقه بازگشتی در پنج لایه شبکه مغزی تشکیل شده:

(۱) لایه ادراک

(۲) لایه ارزیابی و تولید

(۳) لایه تنظیم

(٤) لایه مفهوم‌سازی

(۵) لایه محیط

در لایه ادراک، شبکه پیش‌فرض (DMN) نقش اصلی را ایفا می‌کند. این شبکه که شامل نواحی مانند قشر پیش‌پیشانی میانی، قشر پس‌سری داخلی و لوب گیجگاهی است، با فرآیندهایی نظیر تداعی آزاد، ذهن‌گردی و بازترکیب حافظه مرتبط است (Beaty et al., 2016). در فرآیند طراحی معماری، این لایه مسئول تولید ایده‌های اولیه، تصاویر ذهنی و سناریوهای فضایی است. (Beaty et al., 2016; Kuang et al., 2022). خروجی این مرحله: یک بازنمایی ذهنی از مسئله طراحی.

در لایه ارزیابی تولید، شبکه کنترل اجرایی (ECN) فعال می‌شود که شامل نواحی قشر پیش‌پیشانی جانبی و قشر جداری است. در این مرحله، ECN ایده‌های کلیشه‌ای را مهار، تبدیل مجموعه ذهنی را تسهیل و ارزیابی هدفمند را هدایت می‌کند. MTG با استفاده از دانش معنایی موجود، ایده‌های جدید را از نظر سودمندی می‌سنجد. تعامل MTG–هیپوکامپ ادغام تازگی و سودمندی را برای

شکل‌گیری مفاهیم خلاقانه کارآمد تسهیل می‌کند (Ren et al., 2020). این شبکه وظیفه ارزیابی امکان‌پذیری، انسجام و کارایی ایده‌ها را بر عهده دارد (Miller & Cohen, 2001). در طراحی معماری، این مرحله معادل بررسی محدودیت‌های فنی، عملکردی و اقتصادی طرح است.

نمودار ۱: مدل ۵ لایه فرایند طراحی

لایه تنظیم که توسط شبکه سالیانس (SN) هدایت می‌شود، نقش حیاتی در جابه‌جایی بین حالت‌های تولید و ارزیابی ایفا می‌کند. این شبکه، با تشخیص اهمیت محرک‌ها، تعیین می‌کند که چه زمانی باید از حالت تداعی آزاد به حالت تحلیل منطقی منتقل شد (Menon, 2011). این فرآیند در طراحی به‌صورت تغییر بین ایده‌پردازی و تصمیم‌گیری نمود پیدا می‌کند. مطالعات EEG نشان داده‌اند که افزایش فعالیت اینسولا در شرایط تجربه زیبایی‌شناختی بالا با عملکرد بهتر در آزمون‌های خلاقیت همبستگی دارد (Taherysayah et al., 2025; Huo et al., 2025).

در لایه مفهوم‌سازی و شبیه‌سازی، ساختارهایی مانند هیپوکامپ و شکنج گیجگاهی میانی وارد عمل می‌شوند. این لایه ویژگی منحصربه‌فرد طراحی معماری است که آن را از سایر اشکال خلاقیت متمایز می‌سازد. شبکه اصلی: سیستم هیپوکامپال–فضایی شامل PPA (ناحیه پاراهیپوکامپال) و شبکه حسی–حرکتی (SMN). معمار در این مرحله محیط طراحی‌شده را به‌صورت ذهنی شبیه‌سازی می‌کند، آن را از زوایای مختلف می‌بیند و تجربه جسمانی در فضا را پیش‌بینی می‌کند. هیپوکامپ ناوبری فضایی و حافظه اپیزودیک فضایی را پشتیبانی می‌کند، PPA صحنه‌های معماری را پردازش می‌کند (Epstein & Baker, 2019). مطالعات نشان داده‌اند که این فرآیند شامل ادغام دانش پیشین، بازترکیب حافظه و سازمان‌دهی معنایی است (Ren et al., 2020). در طراحی معماری، این مرحله همان جایی است که «ایده» به «کانسپت» تبدیل می‌شود.

در نهایت، لایه محیط به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کننده عمل می‌کند که می‌تواند از طریق تأثیر بر فعالیت شبکه‌های مغزی، فرآیند خلاقیت را تقویت یا تضعیف کند. این لایه شامل ویژگی‌هایی مانند نور، مقیاس، پیچیدگی و کیفیت زیباشناختی فضا است.

این پنج لایه در قالب یک چرخه بازگشتی عمل می‌کنند، به‌گونه‌ای که خروجی هر مرحله به‌عنوان ورودی مرحله بعدی عمل کرده و در عین حال، بازخورد محیطی می‌تواند کل سیستم را تحت تأثیر قرار دهد.

فرایند طراحی معمارانه و خلق اثر با توجه به این مسیرهای مغزی به پنج شاخص ۱- ادراک و بازنمایی فضا. ۲- پردازش و برنامه‌ریزی.۳- خلق الگوهای نو در معماری. ٤- ارزیابی سودمندی و کارایی اثر معمارانه. ٥- ارزش گزاری نهایی طرح

جدول ۲: نقش نواحی مغز در فرایند خلاقیت معماری

ردیف	فرایند طراحی	ناحیه مغزی درگیر	نقش عملکردی	منابع
۱	ادراک و بازنمایی فضا	قشر آهیانه‌ای خلفی (PPC)	پردازش فضایی و هندسه محیط	Abbas, 2024; Binkofski et al., 1999
۲	پردازش و برنامه‌ریزی	قشر پیشانی جانبی (DLPFC)	کنترل شناختی و مدیریت حافظه کاری	Ellamil et al., 2012
۳	خلق الگوهای نو در معماری	هیپوکامپ (HPC)	تولید مفاهیم جدید از مسیر تجربیات گذشته	Kuang et al., 2022; Ren et al., 2020
٤	ارزیابی سودمندی و کارایی اثر معمارانه	شکنج گیجگاهی میانی (MTG)	یکپارچه‌سازی معنایی و منطق کارکردی	Ren et al., 2020
۵	ارزش‌گذاری نهایی طرح	قشر اوربیتوفرونتال (OFC)	قضاوت زیبایی‌شناختی و سیستم پاداش	Huo et al., 2025

٤-۲- فرایند چهار مرحله‌ای طراحی معماری

پس از بررسی لایه‌های شناختی با مطالعات عملکردی و آزمایشگاهی و بر اساس یافته‌های ادغام‌شده، فرایند خلق معماری خلاقانه را می‌توان در قالب چهار مرحله عصبی-شناختی مفهوم‌سازی کرد در این فرایند لایه مفهوم‌سازی و خلق اثر همراه می‌شوند که در دیاگرام زیر طراحی شده است:

نمودار ۲: مفهومی فعالیت شبکه‌های مغزی در فرایند طراحی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که طراحی معماری را نمی‌توان از طریق مدل‌های خطی و سنتی توضیح داد؛ این فرایند چرخه نورودینامیک غیرخطی است که میان بازنمایی‌های درونی (ایده‌های تولیدشده توسط DMN) و محدودیت‌های بیرونی (ارزیابی‌های ECN) نوسان دارد. این پژوهش با مدل‌های کلاسیک فرایند طراحی (Dorst, 2019; Cross, 2021) تطبیق می‌دهند و آن‌ها را غنی‌تر می‌کنند. «قشر همگرا» (convergence zone) در مدل Cross را می‌توان به‌عنوان فعالیت SN تفسیر کرد که بین تفکر واگرا و همگرا تعادل ایجاد می‌کند. «عقب‌نشینی طراحانه» (design fixation) که در آن معماران تنها از یک راه‌حل ذهنی استفاده می‌کنند، ممکن است با سلطه بیش از حد ECN بر DMN مرتبط باشد که از تداعی‌های آزاد جلوگیری می‌کند.

مهم‌ترین کشف نظری این پژوهش، معرفی «سیستم شبیه‌سازی فضایی» به‌عنوان حلقه مفقوده مدل‌های عمومی خلاقیت است. در حالی که پژوهشگران خلاقیت عمومی را تنها به تعامل DMN و ECN محدود می‌کردند (Beaty et al., 2016; Ellamil et al., 2012)، معماری مستلزم درگیری عمیق شبکه‌های هیپوکامپ و پاراهیپوکامپ برای ناوبری ذهنی و شبیه‌سازی فضایی پیش از ساخت فیزیکی است. علاوه بر این، مفهوم «تفکر طراحانه» (design thinking) که در مدیریت و کسب‌وکار فراگیر شده، از منظر عصبی قابل تفسیر است: این تفکر در واقع به معنای فعال‌سازی متعادل DMN (ایده‌پردازی)، ECN (ارزیابی) و SN (انعطاف‌پذیری بین دو حالت) است. بررسی نقش MTG در کنار هیپوکامپ، ابعاد جدیدی از مفهوم خلاقیت معماری را روشن می‌سازد. طرحی که صرفاً فرمیک و بدیع باشد (فعال‌سازی هیپوکامپ)، بدون ارزیابی کارکردی در MTG، به طرحی «غیرکاربردی» بدل خواهد شد؛ طراحی موفق تنها زمانی در مغز تثبیت می‌شود که تعامل کارکردی قدرتمندی میان این دو مرکز برای ترکیب تازگی و کارآمدی صورت پذیرد. این امر با نظریه بار شناختی کاملاً منطبق است و نشان می‌دهد طراحان خبره از اتصال کارکردی پویاتری در این نواحی برخوردارند (Cross, 2011; Huo et al., 2025).

نمودار ۳: فعالیت تخصصی نواحی مغز در فرایند طراحی

مهم‌ترین کشف نظری این پژوهش، معرفی «سیستم شبیه‌سازی فضایی» به‌عنوان حلقه مفقوده مدل‌های عمومی خلاقیت است. در حالی که پژوهشگران خلاقیت عمومی را تنها به تعامل DMN و ECN محدود می‌کردند (Beaty et al., 2016; Ellamil et al., 2012)، معماری مستلزم درگیری عمیق شبکه‌های هیپوکامپ و پاراهیپوکامپ برای ناوبری ذهنی و شبیه‌سازی فضایی پیش از ساخت فیزیکی است. علاوه بر این، مفهوم «تفکر طراحانه» (design thinking) که در مدیریت و کسب‌وکار فراگیر شده، از منظر عصبی قابل تفسیر است: این تفکر در واقع به معنای فعال‌سازی متعادل DMN (ایده‌پردازی)، ECN (ارزیابی) و SN (انعطاف‌پذیری بین دو حالت) است. بررسی نقش MTG در کنار هیپوکامپ، ابعاد جدیدی از مفهوم خلاقیت معماری را روشن می‌سازد. طرحی که صرفاً فرمیک و بدیع باشد (فعال‌سازی هیپوکامپ)، بدون ارزیابی کارکردی در MTG، به طرحی «غیرکاربردی» بدل خواهد شد؛ طراحی موفق تنها زمانی در مغز تثبیت می‌شود که تعامل کارکردی قدرتمندی میان این دو مرکز برای ترکیب تازگی و کارآمدی صورت پذیرد. این امر با نظریه بار شناختی کاملاً منطبق است و نشان می‌دهد طراحان خبره از اتصال کارکردی پویاتری در این نواحی برخوردارند (Cross, 2011; Huo et al., 2025).

این مقاله با بهره‌گیری از دستاوردهای نوین علوم اعصاب شناختی، مدلی یکپارچه برای تبیین فرایند طراحی معماری ارائه نمود. نتایج حاکی از آن است که خلق یک اثر معماری فراتر از یک عملکرد شناختی ساده بوده و نتیجه فعالیت پیچیده‌ای میان سیستم‌های تولیدی، ارزیابی و شبیه‌سازی فضایی است. فرایند طراحی معماری از تعامل پویا و سازماندهی‌شده سه شبکه اصلی مغز پشتیبانی می‌شود: شبکه حالت پیش‌فرض (DMN) در مرحله ایده‌پردازی، شبکه کنترل اجرایی (ECN) در مرحله ارزیابی و شبکه برجستگی (SN) به‌عنوان تنظیم‌گر پویای بین دو مرحله. هیپوکامپ و شکنج گیجگاهی میانی (MTG) نقش محوری در ادغام دو بعد تازگی و سودمندی ایده‌های طراحی ایفا می‌کنند و لایه سوم «شبیه‌سازی فضایی» از طریق سیستم هیپوکامپال-فضایی و PPA ویژگی منحصربه‌فردی برای معماری نسبت به سایر اشکال خلاقیت ایجاد می‌کند. الگوی ارائه‌شده مشخص نمود که «نو بودن» و «سودمندی» در طراحی، از مسیرهای عصبی مجزایی پردازش می‌شوند و شکل‌گیری کانسپت نهایی نیازمند اتصال عصبی هیپوکامپ و شکنج گیجگاهی میانی است. این پژوهش نه تنها مبانی زیست‌شناختی محکمی برای نظریه‌های معماری فراهم می‌آورد، بلکه مسیر را برای تحقیقات آینده با استفاده هم‌زمان از VR و EEG برای ارزیابی عینی فضاهای خلاق هموار می‌سازد. کاربردهای عملی این مدل پیشنهادی در سه حوزه اصلی قابل تبیین است: نخست، در حوزه آموزش طراحی معماری، شناخت مکانیسم‌های عصبی خلاقیت می‌تواند به طراحی برنامه‌های درسی مبتنی بر شواهد منجر شود که مراحل ایده‌پردازی (DMN) و ارزیابی (ECN) را به‌صورت متناوب و هوشمندانه تحریک کند؛ این رویکرد می‌تواند در استودیوهای طراحی از طریق تعریف تمرین‌های هدفمند برای تقویت تعامل هیپوکامپ-MTG پیاده‌سازی شود. دوم، در استودیوهای طراحی حرفه‌ای، بهره‌گیری از یافته‌های این مدل امکان طراحی محیط‌های کاری بهینه را فراهم می‌آورد که از طریق تنظیم نور، صدا و مقیاس فضا، شبکه‌های مغزی مرتبط با خلاقیت را به‌طور انتخابی فعال نمایند. سوم، در توسعه ابزارهای هوشمند طراحی، این مدل می‌تواند مبنایی برای ایجاد سیستم‌های هوش مصنوعی و رابط‌های مغز-رایانه باشد که با رصد امواج EEG طراح، مرحله فعلی فرایند طراحی را تشخیص داده و پیشنهادهای متناسب با آن مرحله ارائه دهند.

۶- منابع

۱- ملا جعفری، حسان؛ و ضرغامی، اسماعیل(۱٤۰۲). سبک‌های یادگیری کُلب در آموزش معماری؛ مطالعه تطبیقی شیوه‌های آموزشی معماری و سبک‌های یادگیری در ارتقای خلاقیت دانشجویان. فصلنامه پژوهش‌های معماری نوین، ۳(٤)، ۲۵-۷.

doi:10.22034/ats.2024.725740

۲- بهادری، شاهین؛ و شعرباف، عاصم(۱٤۰۳). ارزیابی مقایسه‌ای ادراک بصری محیط‌های معماری در فناوری‌های رابط کاربری انسان و رایانه. فصلنامه پژوهش‌های معماری نوین، ٤(۲)، ۳۸-۲۱.

doi:10.22034/ats.2024.725563

۳- نجاتی، نریمان؛ کلانتری، سعیده؛ و بمانیان، محمدرضا(۱٤۰۰). آموزش طراحی معماری مبتنی بر هوش مصنوعی. مجله علمی پژوهش‌های معماری نوین، ۱(۱)، ۲۵-۷.**doi:10.52547/arch.1.1.7**

4- Abbas, S., Okdeh, N., Roufayel, R., Kovacic, H., Sabatier, J.-M., Fajloun, Z., & Abi Khattar, Z. (2024). Neuroarchitecture: How the perception of our surroundings impacts the brain. Biology, 13(4), Article 220. **doi:10.3390/biology13040220**

5- Assem, H. M., Khodeir, L. M., & Fathy, F. (2023). Designing for human wellbeing: The integration of neuroarchitecture in design – A systematic review. Ain Shams Engineering Journal, 14(6), Article 102102. **doi:10.1016/j.asej.2022.102102**

6- Attaianese, E., Barilà, M., & Perillo, M. (2025). Exploring neuroscientific approaches to architecture: Design strategies of the built environment for improving human performance. Buildings, 15(19), Article 3524. **doi:10.3390/buildings15193524**

7- Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. Trends in Cognitive Sciences, 20(2), 87–95. **doi:10.1016/j.tics.2015.10.004**

8- Binkofski, F., Buccino, G., Posse, S., Seitz, R. J., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (1999). A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: Evidence from an fMRI-study. European Journal of Neuroscience, 11(9), 3276–3286. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10510191/)

9- Cross, N. (2011). Design thinking: Understanding how designers think and work. Berg. ISBN: 9781847886361)

10- 10. Dorst, K., & Cross, N. (2001). Creativity in the design process: Co-evolution of problem–solution. Design Studies, 22(5), 425–437. **doi:10.1016/S0142-694X(01)00009-6**

11- Eberhard, J. P. (2009). Brain landscape: The coexistence of neuroscience and architecture. Oxford University Press. **doi:10.1093/acprof:oso/9780195331721.001.0001**

12- Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., & Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. NeuroImage, 59(2), 1783–1794. **doi:10.1016/j.neuroimage.2011.08.008**

13- Epstein, R. A., & Baker, C. I. (2019). Scene perception in the human brain. Annual Review of Vision Science, 5, 373–397. **doi:10.1146/annurev-vision-091718-014809**

14- Higuera-Trujillo, J. L., Llinares, C., & Macagno, E. (2021). The cognitive-emotional design and study of architectural space: A scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches. Sensors, 21(6), Article 2193. **doi:10.3390/s21062193**

15- Huo, C., Li, C., & Ding, K. (2025). Mapping the brain networks underlying creativity enhancement via aesthetic experience. European Journal of Medical Research, 30, Article 968. **doi:10.1186/s40001-025-03155-5**

16- Kuang, C., et al. (2022). Uncovering neural distinctions and commonalities between divergent thinking and insight: A meta-analysis of fMRI studies using activation likelihood estimation. Human Brain Mapping, 43(15), 4864–4885.

17- Mashchenko, A. (2025). Mindful space design: The rise of neuroarchitecture. International Journal of Architecture, Arts and Applications, 11(1), 36–40. **doi:10.11648/j.ijaaa.20251101.14**

18- Menon, V. (2011). Large-scale brain networks and psychopathology: A unifying triple network model. Trends in Cognitive Sciences, 15(10), 483–506. **doi:10.1016/j.tics.2011.08.003**

19- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. Annual Review of Neuroscience, 24(1), 167–202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167

20- Ren, J., Huang, F., Zhou, Y., Zhuang, L., Xu, J., Gao, C., Qin, S., & Luo, J. (2020). The role of the hippocampus and the middle temporal gyrus in forming new associations and concepts during the processing of novelty and usefulness in creative designs. NeuroImage, 214, Article 116751. **doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116751**

21- Taherysayah, F., Westermann, C., & Liang, H.-N. (2025). Learning from neuroscience: Integrating users in design processes using brain imaging tools and virtual reality. Intelligent Buildings International, 17(1), 13–27.

Research Paper

Investigating the Relationship Between Brain Cognitive Networks and Creativity in the Architectural Design Process Through Cognitive Neuroscience Approaches

Jamal Esmaeilzadeh Vafaei[1], Masoumeh Bayati[2], Saeid Khaghani*[3]

1-Ph.D. Candidate, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
jamalel67@gmail.com
2-M.Sc. in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
masih.bayati@yahoo.com
3-Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding Author)
khaghani.saeid@ut.ac.ir

Extended Abstract

Aims: Architectural design is a highly complex cognitive process that emerges from the interaction of environmental stimuli, individual experiences, and the functional dynamics of the human nervous system. The generation of innovative architectural solutions requires continuous interaction between divergent thinking, convergent thinking, and spatial visualization abilities. While numerous theoretical models have attempted to explain the nature of design thinking, the underlying neural mechanisms responsible for creativity and decision-making in architectural design remain insufficiently understood. Recent advances in cognitive neuroscience have provided new opportunities to explore the neural foundations of creativity through neuroimaging techniques and brain-network analyses. This study aims to investigate the relationship between brain cognitive networks and creativity in the architectural design process and to identify the neural systems involved in idea generation, evaluation, and spatial simulation. By integrating findings from neuroscience and architectural design research, the study seeks to develop a comprehensive conceptual framework that explains how creativity emerges through interactions among large-scale brain networks.

Materials & Methods: This study employed a systematic review methodology combined with conceptual modeling. Relevant literature published between 2020 and 2025 in the fields of cognitive neuroscience, neuroarchitecture, creativity research, and design cognition was reviewed and analyzed. Particular attention was given to studies utilizing electroencephalography (EEG) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) to investigate neural activity during creative thinking and design-related tasks. The selected studies were examined to identify recurring neural patterns associated with architectural creativity and design cognition. Findings from the reviewed literature were synthesized into an integrated conceptual model describing the interaction among major cognitive networks during different stages of the architectural design process. The analysis focused on the Default Mode Network (DMN), Executive Control Network (ECN), hippocampal

spatial simulation systems, and other brain regions associated with memory retrieval, conceptual integration, and creative problem-solving.

Findings: The review revealed that architectural design creativity is not localized within a single brain region but rather emerges from the dynamic interaction of multiple large-scale neural networks. Three principal systems were consistently identified across the literature. The first is the Default Mode Network (DMN), which supports idea generation, imagination, memory retrieval, and divergent thinking. The second is the Executive Control Network (ECN), which is responsible for evaluating, refining, and selecting design alternatives through convergent thinking processes. The third is the spatial simulation system centered around the hippocampus, which enables designers to mentally construct, manipulate, and evaluate spatial configurations. Furthermore, the findings highlight the critical role of the Middle Temporal Gyrus (MTG) and hippocampal structures in generating innovative and contextually appropriate architectural concepts. Based on these findings, a five-stage architectural design model was developed, illustrating how creative outputs emerge through cyclical interactions among generation, evaluation, and simulation processes. The model suggests that successful architectural creativity depends on maintaining a balance between spontaneous idea production and analytical assessment while continuously engaging spatial cognitive mechanisms.

Conclusion: This study provides a neuroscience-based perspective on architectural creativity by demonstrating that design processes emerge from coordinated interactions among multiple cognitive networks rather than isolated mental functions. The proposed conceptual framework indicates that architectural design is fundamentally a cyclical system involving idea generation, evaluation, and spatial simulation, all supported by interconnected neural structures. The findings contribute to bridging the gap between traditional design theories and contemporary cognitive neuroscience by offering a biologically grounded explanation of creative architectural thinking. Moreover, the study highlights the importance of the Default Mode Network, Executive Control Network, hippocampus, and Middle Temporal Gyrus in facilitating creative performance during design activities. These insights may support the development of neuroscience-informed design methodologies, evidence-based architectural education, and future research exploring the neural foundations of creativity. Ultimately, the integration of cognitive neuroscience and architecture provides new opportunities for understanding, enhancing, and teaching design creativity through scientifically informed approaches.

Keywords: Cognitive Neuroscience, Neuroarchitecture, Creativity, Architectural Design Process, Brain Networks, Default Mode Network (DMN), Executive Control Network (ECN), Spatial Cognition.

This Journal is an open access Journal Licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License

(CC BY 4.0)