Investigating the Effects of Architectural Space on Cognition and Brain Activities: A Systematic Review

Mahbubeh Zamani[1], Mehran Kheirollahi[1*], Mohammad Javad Asghari Ebrahim Abad[2], Hasan Rezaee[1], Farzaneh Vafaee [3, 4]

[1]Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
[2]Department of Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[3]Neuroscience Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
[4]Department of Neuroscience, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Article Info:

Received: **9 Jan 2022** ***Revised:*** **30 Apr 2022** ***Accepted*****: 21 May 2022**

ABSTRACT

Introduction: The built environment is rapidly expanding because of the growing need for architectural spaces in urban life. However, not enough studies have been carried out about the effect of architectural space on cognition and brain activities. Earlier studies on the environmental psychology of architecture qualitatively were not able to respond to this query. However, nowadays with the emergence of the new theory of neuroscience and its connection with architecture, researchers have found valuable results shedding morelight on the ways that architectural space affects the human brain through the use of modern tools in neuroscience giving rise to a new paradigm of Neuro-architecture. The purpose of the present study was to investigate the effect of architectural space on brain functions and human cognition by measuring brain activities. The main questions in this study were: what are the literature, key concepts, research methods, and techniques in the field of architecture and neuroscience? In addition, how many fields are such resources divided into? ***Materials and Methods:*** The present study has introduced and analyzed the available resources from 2010 to 2020 via a systematic qualitative method. ***Results:*** The resources are divided into two main categories of theoretical and experimental studies. The focus of the present study is on experimental studies indicating that the physical elements of the architectural space are generally related to the visual field, affect cognition and brain activities, and cause different emotions. ***Conclusion:*** The results revealed that these studies are classified into five general areas of stress reduction, aesthetic judgment, navigation, attention, and emphasis on visual elements and human experiences. EEG technique, fMRI, and some auxiliary tools, such as eye tracking, have been used to measure the effect of architectural space on the brain.

Keywords:

1. Architecture
2. Neurosciences
3. Cognition

***Corresponding Author:** Mehran Kheirollahi

Email: *Dr.mehrankheirollahi@gmail.com*

بررسی تاثیرات فضای معماری بر شناخت و فعالیت‌های مغزی: مرور سیستماتیک

محبوبه زمانی[۱]، مهران خیراللهی[*۱]، محمدجواد اصغری ابراهیم آباد[۲]، حسن رضایی[۱]، فرزانه وفائی[۳،۴]

[۱]گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
[۲]گروه روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۳]مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
[۴]گروه علوم اعصاب، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله:
دریافت: ۱۹ دی ۱۴۰۰ اصلاحیه: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱

چـــــکیده

مقدمه: محیط ساخته شده به دلیل نیاز روزافزون به فضاهای معماری در زندگی شهری به سرعت در حال گسترش است. با این حال، مطالعات کافی در مورد تاثیر فضای معماری بر شناخت و فعالیت‌های مغزی انجام نشده است. مطالعات پیشین در زمینه روانشناسی محیطی معماری از نظر کیفی قادر به پاسخگویی به این پرسش نبودند. با این حال، امروزه با ظهور نظریه جدید علوم اعصاب و ارتباط آن با معماری، محققان به نتایج ارزشمندی دست یافته‌اند، تاثیری که فضای معماری بر مغز انسان می‌گذارد، از طریق استفاده از ابزارهای نوین علوم اعصاب روشن نموده‌اند، که منجر به ایجاد پارادایم نوین معماری عصب‌محور شده‌اند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر فضای معماری بر عملکردهای مغز و شناخت انسان با اندازه‌گیری فعالیت‌های مغزی است. سوالات اصلی در این پژوهش عبارتند از: ادبیات، مفاهیم کلیدی، روش‌ها و تکنیک‌های تحقیق در زمینه معماری و علوم اعصاب چیست؟ علاوه بر این، چنین منابعی به چند حوزه تقسیم می‌شوند؟ ***مواد و روش‌ها:*** پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش کیفی سیستماتیک به معرفی و تجزیه و تحلیل منابع موجود از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ پرداخته است. ***یافته‌ها:*** منابع به دو دسته اصلی مطالعات تئوری و تجربی تقسیم‌بندی می‌شوند، تمرکز پژوهش حاضر بر روی مطالعات تجربی است، که نشان می‌دهد مولفه‌های فیزیکی فضای معماری که عموماً با حوزه بصری مرتبط هستند، بر شناخت و فعالیت‌های مغز تاثیر می‌گذارند و باعث ایجاد احساسات مختلف می‌گردند. ***نتیجه‌گیری:*** نتایج نشان داد، که این مطالعات در پنج حیطه کلی کاهش استرس، قضاوت زیبایی شناسی، مسیریابی، توجه و تاکید بر عناصر بصری و تجربیات انسانی طبقه‌بندی می‌گردند. از تکنیک fMRI، EEG و برخی ابزارهای کمکی همچون Eye Tracking برای اندازه‌گیری تاثیر فضای معماری بر مغز استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی:
۱- معماری
۲- علوم اعصاب
۳- شناخت

***نویسنده مسئول:** مهران خیراللهی

پست الکترونیک: *Dr.mehrankheirollahi@gmail.com*

مقدمه

فضای معماری فراتر از یک مکان بوده، دارای تاثیرات شناختی بر مغز می‌باشد و حضور در آن باعث فعال شدن مغز می‌گردد، بنابراین اثرات فیزیولوژیکی و شناختی آن را نمی‌توان نادیده انگاشت (۳-۱). همچنین مطالعات اخیر بیانگر فعال شدن بخشی از سیستم عصبی انسان تحت تاثیر مولفه‌های فیزیکی محیط ساخته شده می‌باشد، که انسان به آن از نظر شناختی و احساسی واکنش نشان می‌دهد و بر نحوهٔ رفتار افراد تاثیرگذار بوده و باعث تغییر احساسات می‌شود (۶-۴). این تغییرات در سطح شناختی (به‌عنوان پردازش و ارزیابی اطلاعات درک شده) و در سطح احساسی (به‌عنوان واکنش‌های انطباقی به اطلاعات درک شده) تاثیرگذار است (۷). تعامل میان انسان و فضای معماری، پتانسیل قابل توجهی برای ایجاد دانش در رشتهٔ طراحی محیطی و همچنین ارتقای سلامت روان دارد. اگر بتوانیم واکنش‌های انسان به فضای معماری را درک کنیم، می‌توانیم تناسبات و هماهنگی بیشتر میان انسان و معماری ایجاد نماییم (۹-۸). گذشتهٔ معماری بیانگر سابقهٔ توجه به پاسخ‌های انسانی در برابر فضا از زمان افول مدرنیسم در دههٔ ۱۹۶۰ بوده است (۱۰). در ابتدا پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه متکی بر فلسفه و یا بررسی الگوهای رفتاری مرتبط با واکنش‌های افراد به محیط ساخته شده بوده است (۱۱). اما این‌گونه پژوهش‌ها در آن زمان، قادر نبودند به چرایی و چگونگی تاثیر فضا بر انسان پاسخ روشنی دهند (۱۲). در آن دوران از تکنیک‌های سنتی همچون پرسشنامه یا مشاهدات جهت جمع‌آوری شواهد استفاده می‌شده است. با گذشت زمان و تحول در علم و فناوری و ظهور رشتهٔ علوم اعصاب همکاری‌های میان‌رشته‌ای در این زمینه صورت گرفت، که باعث ظهور پارادایم نوین معماری عصب‌محور شد، و امکان ثبت فعالیت‌های عصبی در هنگام حضور در فضای معماری با استفاده از تکنیک‌های عصب‌شناسی فراهم گردید (۱۷-۱۳). حوزهٔ بین رشته‌ای معماری عصب‌محور با هدف گسترش معیارهای مفهومی از طریق چارچوب‌های تجربی بر مبنای تعامل میان مغز و فضای معماری شکل گرفته است و بر سلامت انسان تمرکز دارد (۱۸). اگرچه تعریف علمی سلامت روانشناختی[1] جنبه‌های مختلفی همچون ویژگی‌های جسمانی، شرایط اجتماعی و غیره را در بر می‌گیرد، اما از آن‌جایی که انسان ۹۰ درصد میانگین طول عمر خویش را در محیط ساخته شده سپری می‌کند، معماری یکی از مهم‌ترین مولفه‌های سلامت محسوب می‌شود که، تاثیر آن در طولانی مدت نیز منعکس می‌گردد (۲۴-۱۹). سنجش این تاثیر با بهره‌گیری از فناوری نقشه‌برداری مغز[2] اندازه‌گیری می‌شود که می‌تواند وضعیت ذهنی انسان را در فضای معماری با علائمی همچون میزان علاقه، مشارکت و عدم مشارکت، توجه، شناخت، تمرکز و غیره نشان دهد (۲۷-۲۵، ۲۳). با وجود تاثیر غیر قابل انکار معماری بر مغز انسان، اما غالباً نیازهای عصب‌شناختی انسان در فضا نادیده گرفته شده است و باعث به خطر افتادن آیندهٔ انسان شده است (۲۹-۲۸). علوم اعصاب پتانسیل بالایی جهت به ظهور رساندن چرایی و چگونگی این تاثیرها دارد، با این حال مطالعات کمی از ابزارهای علمی علوم اعصاب جهت اندازه‌گیری فعالیت‌های مغزی به جای تحلیل‌های کیفی رایج استفاده نموده‌اند و این فقدان تحقیقات کافی در این زمینه باعث عدم شناخت صحیح تاثیر معماری بر انسان می‌گردد که سلامت روان وی را نیز تهدید می‌کند. هدف از مرور حاضر شناسایی تأثیر فضای معماری بر شناخت و فعالیت‌های مغزی انسان و همچنین تجزیه و تحلیل انتقادی ادبیات موجود برای هدایت تحقیقات آینده به سمت فضای سالم‌تر می‌باشد. از این‌رو پس از بررسی مطالعات این زمینه، مفاهیم، مولفه‌های مورد مطالعه، روش‌ها و ابزارهای مختلف مورد استفاده برای اندازه‌گیری این تأثیرمورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با توجه به معرفی رویکرد جدید معماری عصب‌محور و اهمیت بررسی آن در حوزهٔ معماری، بیان خلاءهای تحقیقاتی و همچنین تبیین حوزه‌های کاربردی آن مطرح گشته است. در این راستا سوالات تحقیق این‌گونه قابل بیان می‌باشد: ادبیات، مفاهیم کلیدی، روش‌ها و تکنیک‌های تحقیق در زمینهٔ معماری و علوم اعصاب در منابع موجود چیست؟ و این منابع به چند زمینهٔ مطالعاتی قابل تقسیم می‌باشد؟ در راستای پاسخ به سوال ابتدا مفاهیم در این زمینه در منابع موجود مورد بررسی قرار خواهد گرفت، که منجر به شناخت بیشتر مطالعات بین رشته‌ای در رابطه با معماری و علوم اعصاب خواهد گردید، و در ادامه پاسخ به سوالات باعث شناسایی روندهای مختلف تحقیق در این زمینه می‌شود که محققان قادر خواهند بود تا با شناسایی مولفه‌های مورد مطالعهٔ خویش و نوع دسته‌بندی که مطالعه در آن قرار گرفته است، مسیر مشخصی برای تحقیق خود پیدا نمایند. روش پژوهش: روش پژوهش حاضر بر مبنای رویکرد کیفی و مرور سیستماتیک به مطالعهٔ ادبیات و منابع موجود در زمینهٔ

[1] Psychological Well-Being
[2] Brain Mapping Technology

روانشناسی محیط، معماری، علوم اعصاب و رویکرد نوین معماری عصب‌محور می‌پردازد (۳۰). انتخاب مطالعات: بر اساس معیارهای ورود و خروج مشخص شده در فرآیند مرور مطالعات انتخاب می‌گردند که در ادامه هر یک از آن‌ها توضیح داده شده است. الف) معیار ورود: جهت انجام مرور سیستماتیک در میان مقالات انگلیسی، معیارهای ورود تعریف گشته است، معیار نخست سال انتشار مقالات می‌باشد که بازهٔ زمانی بین ۱ ژانویه ۲۰۱۰ تا ۱ ژانویه ۲۰۲۰ تعریف شده است. معیار دوم مربوط به عبارت‌های مورد جست‌وجو می‌باشد، که بر اساس دانش نویسندگان و همچنین تجزیه و تحلیل مبانی و ادبیات موجود در این زمینه تعیین گردیده است. به همین منظور طیف گسترده‌ای از کلمات کلیدی مرتبط با معماری و علوم اعصاب مشخص شدند که شامل (“Neuroscience” OR “neuroarchitecture”) AND, FOR, OF (“architecture” OR “architectural space” OR “interior space” OR “built environment” OR “environment design” OR “physical environment”) و همچنین برخی از کلمات تنها با پیوند AND قابل جست‌وجو بودند که شامل (“Neuroimaging” OR “brain imaging”” OR “brain responses” OR “neural activation” OR “neural responses”) AND (“architecture” OR “architectural space” OR “interior space” OR “built environment” OR “environment design” OR “physical environment”) می‌باشد. نتایج جست‌وجو بر اساس عنوان، کلید واژه، چکیده، سوالات و فرضیه محدود گردیده که عمدتاً بر روی معماری عصب‌محور تمرکز داشته باشند. در هنگام جست‌وجو به تفاوت میان فضای معماری و شهرسازی توجه ویژه‌ای شده است و مطالعات مربوط به حوزه شهرسازی از مرور حذف گردیده است. معیار سوم در رابطه با اعتبار تحقیقات بوده است که مقالات باید در نشریه‌های Q1 و Q2 چاپ شده و کتاب‌ها دارای انتشارات معتبر باشند. ب) پایگاه داده: ابتدا از پایگاه داده Web of Science و نمایه‌های (Science Citation Index Expanded, Social Sciences Citation Index, Arts, and Humanities citation Index, and Emerging Sources Citation Index) جست‌وجو شروع گردید. دو پایگاه داده الکترونیکی ProQuest و Scopus به‌عنوان دایرکتوری‌های معتبر جهت چاپ مطالعات تجربی نیز مورد بررسی قرار گرفتند. پس از آن، جست‌وجو در دو پایگاه داده Elsevier شامل: EMBASE، Science Direct نیز صورت گرفت. علاوه بر این از وب سایت‌های Google Scholar و Researchgate برای بررسی بیشتر کمک گرفته شد و منابع مقالات منتخب نیز مورد بررسی قرار گرفتند تا اطمینان از جست‌وجوی کامل شکل بگیرد. ج) معیار خروج: پس از استخراج داده‌های اولیه، معیارهای خروج مطالعات از مرور حاضر بر مبنای نوع مطالعه تعیین گردید، که در این راستا مقالات کنفرانسی[3]، مقالات همایشی[4]، گزارش‌ها[5] و پایان‌نامه‌ها[6] از سیر مطالعه حذف شدند. ارزیابی مطالعات: پس از استخراج داده‌ها بر اساس معیارهای ورود و خروج، مرور حاضر جهت بررسی کیفیت انجام کار، منابع استخراج شده به وسیلهٔ دو نفر مرورگر به طور مستقل مطالعه شده است و دلایل پذیرش و رد آن‌ها ارائه شده است. از آنجا که اختلاف نظری میان افراد مرورگر با نگارندگان وجود نداشته است، توسط صاحب نظر مورد تایید نهایی قرار گرفت و در نهایت تمامی مقالات مورد تایید وارد مرور گشت.

استخراج اطلاعات: مطالعات نهایی مورد بررسی و تحلیل دقیق قرار گرفته و داده‌های اختصاصی مورد نظر نگارندگان مانند، نوع روش تحقیق، ابزارهای مورد استفاده، فضاهای مورد مطالعه، مولفه‌های مورد سنجش، سال و مکان چاپ و غیره استخراج گشته است و به تفضیل در پژوهش مورد بحث قرار گرفته است. تفسیر نتایج: پس از بررسی داده‌های مورد نظر مرور حاضر، نتایج هر یک از مطالعات به طور اختصاصی بیان شده و در نهایت پنج دسته‌بندی کلی مطالعات صورت گرفته در این زمینه مطرح شده است. علاوه بر این مطالعات دارای تشابه و تفاوت مجزا گشته است تا راه محققان آینده روشن‌تر شود.

یافته‌ها

پیوند معماری و علوم اعصاب دارای پیشینه‌ای می‌باشد که زمینه‌ساز شکل‌گیری معماری عصب‌محور گشته است، و آشنایی با زمینه‌های شکل‌گیری آن درک پارادایم نوین معماری عصب‌محور را تسریع می‌کند. همچنین این زمینهٔ جدید مطالعاتی تکنیک‌ها، روش‌ها و ابزارهایی جهت انجام آزمایش‌ها دارد که، قبل از پرداخت به مرور تحقیقات، آن‌ها به طور کامل معرفی می‌گردد. قابلیت‌ها و ویژگی‌های هر یک توضیح داده و در دسته‌بندی‌های مشخص ارائه می‌گردد تا شناخت تحقیقات کامل‌تر گردد. ادبیات و مبانی نظری معماری عصب‌محور: زمینه‌های شکل‌گیری مطالعات معماری و علوم اعصاب: از منظر تاریخی، مدت‌ها پیش از شکل‌گیری معماری عصب‌محور، تلاش‌هایی برای مرتبط ساختن فضا با سلامت مانند "Sthapatya Veda" و "Maharishi Vedic architecture" صورت گرفته است (۳۲-۳۱). این مفاهیم اصول کلی طراحی معماری از دیدگاه نوع چیدمان خانه با هدف سلامت انسان و

[3] Conference papers
[4] proceedings
[5] reports
[6] dissertations

نمودار ۱- فرآیند مرور

ارتباط مناسب میان ساکنین و فضا بوده است (۳۴-۳۳). مطالعات علمی اولیه، عمدتاً به روانشناسی محیط مربوط می‌شود. در اواخر دهۀ ۱۹۵۰، معماران و دانشمندان علوم رفتاری شروع به همکاری برای طراحی محیط‌های خاص کردند، مانند بیمارستانی روانی که معماران با همکاری روانپزشکان آن را طراحی کردند، و یا مدرسه‌ای مبتنی بر سلامت روانی کودکان طراحی گردید (۳۶-۳۵). پس از دهۀ ۱۹۶۰، علاقۀ محققان به موضوع سلامت در زمینه‌های اجتماعی و روانشناختی بیشتر شد و منجر به انتشار مجلۀ محیط و رفتار[7] در سال ۱۹۶۹، مجلۀ روانشناسی محیطی[8] در سال ۱۹۸۰ و شکل‌گیری انجمن بین‌المللی مطالعات مردم- محیط‌زیست[9] در سال ۱۹۸۱ شد، که زمینۀ مناسبی برای مطالعات تاثیر محیط بر انسان فراهم گشت (۳۷). قابل بیان است، که شناخت پیشینۀ شکل‌گیری این زمینۀ مطالعاتی، به محققان امکان درک بهتر میزان تاثیرگذاری علوم اعصاب در معماری را می‌دهد (۳۸). بر مبنای دیدگاه جامعۀ معماری، قرن بیست‌ویکم چندین روند جدید را آغاز کرده است که از تقاطع با علوم اعصاب برخواسته‌اند و گرایش‌های معماری که قادر هستند در جنبش‌های جدید معماری عصب‌محور مطرح شوند (۴۰-۳۹). اصطلاح معماری عصب‌محور نخستین بار در رابطه با طراحی ساختمانی در مصاحبه‌ای از شمارۀ پاییز سال ۲۰۰۳ مطرح شد، در آن زمان ابرهارد و گیج دلیل همکاری معماران و دانشمندان علوم اعصاب را توضیح دادند (۴۲-۴۱). همین موضوع باعث شکل‌گیری اولین بدنۀ تحقیقاتی دانشگاهی بر روی معماری عصب‌محور با نام آکادمی علوم اعصاب برای معماری[10] (ANFA) در سن‌دیگو گردید (۴۳). برای بررسی تجربیات انسان در فضا از طریق رویکرد عصب‌شناختی، نیاز به بیان

[7] Environment and Behaviour
[8] Environmental Psychology
[9] International Association of People- Environment
[10] Academy of Neuroscience for Architecture

تفاوت‌ها و همپوشانی‌های برخی اصطلاحات هم‌چون علوم اعصاب[11]، علوم شناختی[12]، معماری عصب‌محور[13] و معماری شناختی[14]، پیش از بیان تقاطع مبانی نظری هستیم. گسترده‌ترین شاخه در این مبحث علوم شناختی است که مرتبط با پردازش ذهن بوده و به انواع مختلفی از تفکر اشاره دارد و شامل درک[15]، یادگیری[16]، حل مسئله[17]، تصمیم‌گیری[18]، استدلال[19] و تجربهٔ احساسی[20] می‌شود (۴۴). اصطلاح معماری شناختی اولین بار توسط دبورا هاپتمن در سال ۲۰۱۰ استفاده شد. وی معماری شناختی را ایدهٔ ذهن در فناوری اطلاعات و ارتباطات تعریف کرد (۳۹). طبقه‌بندی رویکردهای پایه‌ای در معماری شناختی به این صورت قابل تقسیم است:

A- رویکرد هندسی: معماران همواره با هندسه کار کرده‌اند تا به بعد احساسی شناختی معماری بپردازند. از این‌رو، رویکرد هندسه یک نقطهٔ شروع معتبر می‌باشد که به وسیلهٔ آن معماران می‌توانند به توسعهٔ ابزارهای طراحی دست یابند (۴۵). بسیاری از مفاهیم هندسی در طول زمان در حال تکرار هستند و به صورت تجربی نیز تایید شده‌اند و از واقعیت مجازی یا مبانی عصب‌شناسی برای تایید آن استفاده شده است (۴۸-۴۶). همچنین تحقیقات دیگر در رابطه با ویژگی‌های هندسی به وسیلهٔ علوم نوین صورت گرفته است. تحقیقاتی همچون تجزیه و تحلیل ایزوویستی هندسه، بهره‌گیری از هوش مصنوعی جهت شناسایی ویژگی‌های مختلف هندسه و تحلیل ریاضی-هندسی تصاویر معماری صورت گرفته است (۵۲-۴۹).

B- رویکرد پدیدارشناسی فضا و تجربهٔ جغرافیایی: پدیدارشناسی، مطالعه و توصیف پدیده‌هایی است که به وسیلهٔ حواس تجربه می‌شود و مبتنی بر پدیده‌هایی است که می‌توان آن‌ها را احساس نمود (۵۳). اولین نظریه پرداز در این زمینه هوسرل[21] بود و پس از آن، هایدگر[22] این زمینه را گسترش داد (۵۵-۵۴). با گذشت زمان، مفهوم فاصله و فضای هودولوژیکی[23] همچون نحوهٔ ارزیابی مسیرها با ترجیح براساس تاثیرات ذهنی و عینی به وسیلهٔ لوین و سارتر و شاعرانه‌های فضایی باچلارد شکل گرفت، که در معماری گسترش پیدا کرد (۵۸-۵۶). راسموسن[24] نیز یک دیدگاه پدیدارشناسانه از معماری ارائه داد (۵۹). این مفاهیم در برنامه‌ریزی شهری نیز کاربرد پیدا نمودند. افرادی مانند لینچ[25] که تاثیر روانشناسی محیطی را بر پدیدارشناسی فضا نشان داد و پالاسما[26] که پدیدارشناسی فضا را مورد بررسی قرار داد این موضوع را گسترش دادند، که تاثیر پدیدارشناسی فضا بر بعد شناختی عاطفی تا به امروز گسترش پیدا کرد (۶۲-۶۰). فلسفه، روانشناسی محیطی، و رویکرد طراحی مبتنی بر شواهد: روانشناسی به بررسی رفتارها و فرآیندهای ذهنی می‌پردازد، و اگر تمرکز این زمینه بر فضا باشد روانشناسی محیطی[27] نام می‌گیرد، و پدیدارشناسی بستر روانشناسی محیطی است (۶۵-۶۳). در ابتدا برک[28] و پس از آن کانت[29] زمینهٔ روانشناسی را گسترش دادند و افرادی چون زایزینگ[30] و ویشر[31] با ترکیب رواشناسی با فلسفه و زیبایی‌شناسی این زمینه را گسترش دادند و بعدها ورتهایمر[32]، کافکا[33] و کوهلر[34] روانشناسی گشتالت را پایه‌ریزی کردند، که بسیاری از طراحان از جمله معماران این اصول را پذیرفته‌اند (۷۰-۶۶). در این زمان ارتباط بین روانشناسی و علوم اعصاب بیشتر از قبل مشهود شد (۷۱). یکی از مزیت‌های روانشناسی محیطی برای سنجش بعد شناختی– هیجانی معماری، ابزارهای ارزیابی آن می‌باشد (۷۲). مدل‌های کالر و راسل و مهرابیان جزء شناخته‌شده‌ترین مدل‌های ارزیابی می‌باشند (۷۵-۷۳). پس از معماری شناختی، زمینه‌ای با نام علوم محیط- رفتار که برگرفته از علوم شناختی بوده است ظهور پیدا نمود، تا مطالعات در رابطه با تاثیرات معماری بر پاسخ‌های انسانی را مورد تحلیل و بررسی قرار دهد. بیشتر محیط‌های بررسی شده در مطالعات حوزهٔ محیط و رفتار شامل، خیابان، مسکن، فضاهای اداری، موزه، مدرسه، بیمارستان، مراکز نگهداری از بیماران مبتلا به آلزایمر و محیط بازی کودکان می‌باشد. دو روش تحقیق اصلی و یک پروسهٔ طراحی برای انجام این تحقیقات توسعه پیدا کرده است که شامل تحقیقات مربوط به برنامه‌ریزی نیازهای افراد[35]، ارزیابی پس از اشغال (POE)[36] و طراحی مبتنی بر شواهد می‌شوند (۷۶). پژوهش‌های محیط و رفتار انسان (E-B) و ارزیابی پس از اشغال (POE) نشان می‌دهد که چه ارتباطی بین محیط و رفتار وجود دارد، ولی هیچ وقت نمی‌توانند مشخص کنند، که از منظر فیزولوژیک و علوم اعصاب چرا این ارتباط وجود دارد و پاسخ به این چرایی نیازمند ادغام دانش علوم اعصاب با این تحقیقات می‌باشد (۷۶). معماری عصبی در نگاه اول شاید شبیه معماری شناختی یا مطالعات محیط-رفتار باشد، اما به طور قابل ملاحظه‌ای با آن متفاوت است. همانطور که ادلشتاین[37] استدلال کرد، اصطلاح معماری عصب‌محور مدت‌هاست که برای نشان دادن

[11] Neuroscience
[12] Cognitive Science
[13] Neuroarchitecture
[14] Cognitive Architecture
[15] Perception
[16] Learning
[17] Problem- Solving
[18] Decision
[19] Reasoning
[20] Emotional Experience
[21] Husserl
[22] Heidegger
[23] Hodological Space
[24] Rasmussen
[25] Lynch
[26] Pallasmaa
[27] Environmental Psychology
[28] Burke
[29] Kant
[30] Zeising
[31] Vischer
[32] Wertheimer
[33] Kafka
[34] Köhler
[35] User Needs Programing Studies
[36] Post- Occupancy Evaluation
[37] Edelstein

نحوهٔ عملکرد مغز، که از محیط ساخته شده تاثیر می‌پذیرد، استفاده می‌شود. معماران به طور فزاینده‌ای این اصطلاح را برای توصیف زمینهٔ مطالعاتی جدید مورد استفاده قرار داده‌اند که در آن چگونگی تاثیر فضا بر مغز انسان را روشن می‌نماید (۷۷). معماری عصب‌محور بر تاثیر محیط ساخته شده بر مغز انسان و واکنش‌های آن به محیط تمرکز دارد. مهم‌ترین مشارکت میان علوم اعصاب و معماری ایجاد درک تاثیرات آگاهانه و هم‌چنین غیر آگاهانه، می‌باشد. جدول زیر به صورت خلاصه مقایسه‌ای بین استفاده از مدل‌های علوم اعصاب و محیط-رفتار و همچنین عناصر معماری ارائه شده است و دامنهٔ مطالعه و متغییرهای هر حوزه مشخص گردیده است (۷۶).

معماری و علوم اعصاب: علوم اعصاب[38] علمی است که به مطالعهٔ مغز می‌پردازد و مشخص می‌کند که مغز چگونه تمام فعالیت‌های ما را کنترل می‌کند و در نهایت اثر آن بر چگونگی تفکر، حرکت، ادراک، یادگیری و یادآوری را روشن می‌کند. تحولات در این علم باعث پیشرفت و تعمیق پاسخ‌های انسانی شده است و یک تغییر پارادایمی در مورد نظریه‌های فعلی در زمینهٔ مغز انسان و محیط ساخته شده ایجاد نموده است (۷۶). این تغییر پارادایم نیازمند دیدگاه‌های جدید برای ارتباط مغز انسان با محیط ساخته شده است. مغز انسان می‌تواند بر اساس دیدگاه‌های فردی محققان مورد بررسی قرار گیرد. رابطهٔ بین معماری و علوم اعصاب به سه قسمت قابل تقسیم می‌باشد: ۱-عصب‌شناسی فرآیند طراحی، که به بررسی آن‌چه که در مغز معماران می‌گذرد، می‌پردازد. ۲-معماری نورومورفیک، که شکل‌گیری ساختمان‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. ۳- علوم اعصاب در تجربهٔ معماری، که مغز انسان را در تجربهٔ یک محیط ساخته شده مورد بررسی قرار می‌دهد (۷۸). از نظر تئوری ارتباط علوم اعصاب و معماری زیر مجموعهٔ تئوری‌های ارتباط علم و هنر قرار می‌گیرد (۷۶). ایده‌های اولیه ارتباط علوم اعصاب و معماری در سال ۱۹۵۰ توسط یک محقق علوم زیستی[39] که برای حل یک مسئله دچار مشکل شده بود، ارائه شد. او که بعد از تغییر محیط و ساختمان خود متوجه تاثیر آن‌ها در روند حل مسئلهٔ خود شد، به تاثیر معماری بر سلامت و بازدهی افراد علاقمند شد. بعد از آن او

جدول ۱- مدل محیط- رفتار- علوم اعصاب در طراحی معماری

مدل محیط-رفتار-علوم اعصاب در طراحی معماری					
محدوده مطالعات					
طراحی		علوم اعصاب		محیط و رفتار	
عناصر فیزیکی محیط	اندازه‌گیری با علوم اعصاب	عوامل فیزیولوژیکی	نتایج رفتاری	نتایج عملکردی	متغیرهای هر محدوده
بیان ویژگی‌های فضا بر اساس پلان، ابعاد و اندازه	روش‌های اندازه گیری شامل: Scan, PET, ERP, MRI	اندازه‌گیری واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند: آزمایش کورتیزول بزاق و فشار خون	مشاهده رفتار و سایر روش‌های اندازه‌گیری مانند: مشاهده سیستماتیک، عکاسی و گزارش شخصی	تست‌های کاغذ و قلم: قضاوت عملکردی و حرفه‌ای	تکنیک‌های اندازه‌گیری
-شدت، مدت و فرکانس روشنایی -سطح نویز	تحقیقات عصب شناسی در زمینه شنوایی و بینایی	ویژگی‌های چشم و گوش	قابلیت تشخیص فرکانس‌ها نزدیک بینی	مشکلات شنوایی فقدان مهارت موسیقی مشکلات‌کاری و یادگیری	پارامترهای مطالعه
لوکس و دسی بل	Scan, PET, ERP, MRI	مداخلات فیزیولوژیکی، CAT Scan	تست‌های شنوایی و بینایی	نمرات آزمون، عملکرد تحصیلی و عملکرد شغلی	پارامترهای اندازه‌گیری

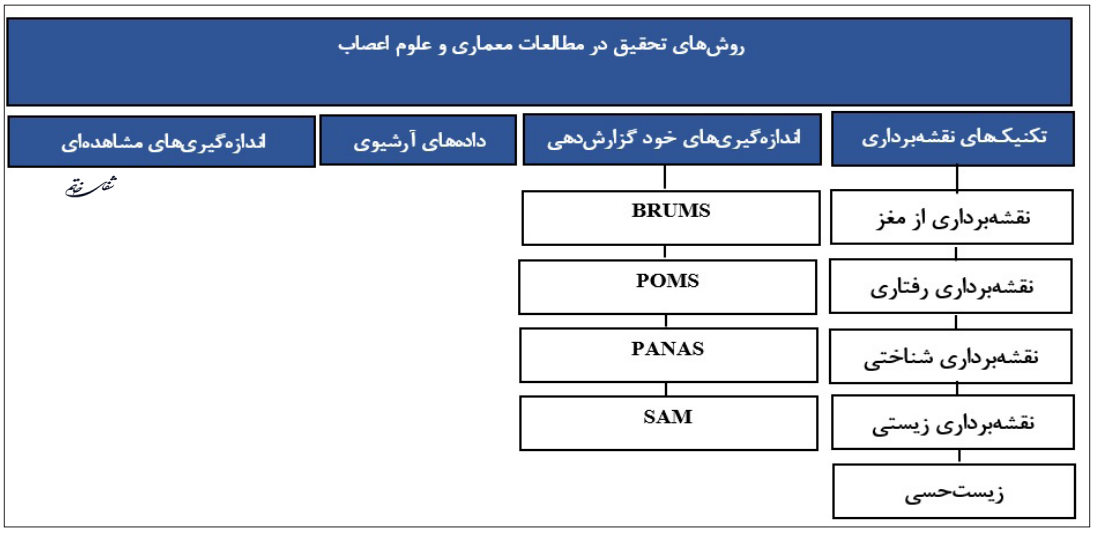
[38] Neuroscience
[39] Jonas Salk

سفارش طراحی موسسه سالک[40] را به لویی کان داد و از او خواست در طراحی خود به اثرات محیط بر انسان توجه نماید (۷۹). در سال ۲۰۰۳ آکادمی نوروساینس برای معماری در سان‌دیگو تاسیس شد و با برگزای سمینارها و کارگاه‌ها، راه فعالیت در این زمینه را مهیا نمود (۴۳). معماری عصب محور[41]: معماری عصب‌محور رابطهٔ بین تجربی حسی در فضا، به‌عنوان یک ورودی و درک ما از فضای معماری به‌عنوان خروجی را تحلیل می‌کند (۸۰). این رویکرد برای بیان این ایده که چگونه یک فضای معماری بر پروسه روانی یا فیزیولوژیکی تاثیرگذار باشد به کار می‌رود و در ادامه با تغییرات قابل اندازه‌گیری که محیط ساخته شده بر سلامت انسان می‌گذارد ارتباط پیدا می‌نماید (۱۱). معماری عصب‌محور که بر پایه تعاملات فعالیت‌های مغزی و محیط ساخته شده استوار گردیده است، به‌عنوان یک رشتهٔ نوپا و ترکیبی از علوم اعصاب، روانشناسی محیط و معماری می‌باشد (۸۱). در واقع دانش علوم اعصاب مانند یک پل، فاصلهٔ خالی میان معماری و روانشناسی را با مشخص نمودن مکانیزم‌های پنهان مغز در ارتباط با معماری، پر می‌کند (۱۲). معماری عصب‌محور در راستای افزایش کیفیت زندگی به وسیلهٔ کاهش استرس، افزایش شناخت، بهره‌وری طولانی مدت و پاسخ‌های روانی و عاطفی مطلوب به محیط ساخته شده می‌باشد (۲۴). مطالعات معماران در زمینهٔ علوم اعصاب به ویژگی‌های محیطی، که واکنش‌های فیزیولوژی و عصبی همچون احساس آسایش یا اضطراب در محیط ساخته شده را القا می‌کنند، تاکید دارد و بیان می‌دارد که طراحی معماری مبتنی بر علوم اعصاب جهت ارتقای خلاقیت و شناخت بهتر و راحتی کاربران فضای خود می‌باشد (۸۲). توسعهٔ علوم اعصاب در معماری بستری جدید برای معماران ایجاد می‌نماید تا محیط‌هایی طراحی شده بستر مناسبی جهت فعالیت‌های شناختی باشد (۷۶). به طور کلی، هدف اصلی معماری عصب‌محور، مطالعهٔ تأثیر محیط ساخته شده بر سیستم عصبی است، که تجلی ادراک انسان و شاخصی از بهزیستی روانشناختی می‌باشد (۸۴-۸۳). محققان به این نتیجه رسیده‌اند که مغز انسان پدیده‌ای پیچیده بوده و درک و توضیح آن دشوار است. جهت درک دلیل پاسخ‌های مغز انسان به محیط ساخته شده، ویژگی‌های اصلی آناتومیکی آن باید طبق تجربیات، افکار، رفتار، احساس و شناخت انسان در محیط مورد ارزیابی قرار گیرد. از این‌رو هرچه دانش محققان در ارتباط با مغز انسان عمیق‌تر گردد، درک تاثیر محیط ساخته شده بر مغز انسان بیش‌تر می‌گردد. به همین دلیل مروری بر نحوهٔ عملکرد مغز، موضوع مورد مطالعه را روشن‌تر می‌نماید. نحوه عملکرد مغز انسان: از قرن نوزدهم، دانشمندان به دنبال درک سیستم پیچیده‌ای بودند که اساس افکار، احساسات و رفتار انسان را در برمی‌گیرد (۸۷-۸۵). مغز به‌عنوان یک سیستم مرموز و فرمانروای مطلق بدن، کارکردهای متفاوتی را مدیریت می‌کند (۸۸). مغز انسان از میلیاردها سلول به‌هم پیوستهٔ نورون تشکیل شده است، که پردازش اطلاعات بنیادین را به صورت بیوشیمیایی و از طریق پالس‌های الکتریکی مبادله می‌کنند (۸۹) و به واکنش‌های روانی انسان در موقعیت‌های مختلف ختم می‌شود (۹۰-۸۹، ۸۰). کل سیستم عصبی انسان با انتقال سیگنال‌ها بین بخش‌های خاصی از بدن و مغز، اعمال بدن را هماهنگ می‌کنند و از نظر فعالیت به نورون‌ها وابسته است (۹۱). مغز توسط چین‌خوردگی‌های متعدد به چهار مقطع مدور به نام قطعه تقسیم شده است که عبارتند از: لوب پیشانی[42]، لوب آهیانه‌ای[43]، لوب پس‌سری[44]، لوب گیجگاهی[45]، که وظیفه اصلی آن‌ها به این شرح است: لوب پیشانی واقع در جلوی مغز در ناحیهٔ پیشانی[46]، مسئول برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، کنترل رفتار، حافظه کوتاه مدت، حل مسئله، خلاقیت و قضاوت است. قشر پیشانی[47] بخش جلویی لوب‌های پیشانی مغز است که در جلوی قسمت حرکتی و قسمت پیش‌حرکتی واقع شده است. خود قشر پیش‌پیشانی به سه قسمت اصلی تقسیم می‌شود. بخش پیشین‌حدقه‌ای[48] و بخش بطنی- میانی یا شکمی[49]، قشر پیش‌پیشانی پشتی- جانبی[50] و قشر کمربندی پیشین[51]. سایر قسمت‌های پیش‌پیشانی عبارتند از قشر بطنی- جانبی[52]، قشر پیش‌پیشانی میانی[53] و قشر پیش‌پیشانی قدامی (۹۲). ساختارهای زیر قشری شامل سیستم لیمبیک، تالاموس، هیپوتالاموس و غدهٔ هیپوفیز است. سیستم لیمبیک یکی از مهم‌ترین سیستم‌های مغز است زیرا مسئول احساسات، حافظه، یادگیری و شناخت است (۹۳). سیستم لیمبیک که در ساختار عمیقی در قسمت زیرقشری غشای مغز قرار گرفته است، دارای سه زیر سیستم اصلی است: هیپوکامپ ، آمیگدال و گانگلیون‌های پایه (۹۴). هیپوکامپ وظیفهٔ جهت‌یابی و ایجاد حافظهٔ قسمت‌ها را بر عهده دارد (۹۵). آمیگدال مسئول واکنش‌های احساسی است، در حالی که گانگلیون‌های پایه مسئول حرکت هستند. علاوه بر این، سیستم حسی مغز انسان برای درک

[40] Salk Institute
[41] Neroarchitecten
[42] Frontal Lobe
[43] Parietal Lobe
[44] Occipital Lobe
[45] Temporal Lobe
[46] Forehead Area
[47] Prefrontal Cortex- PFC
[48] Orbitofrontal- OFC
[49] Ventromedial Areas- VMPFC
[50] Anterior (ACC) and the Ventral Cingulate Cortex
[51] Ventrolateral Cortex- VLPFC
[52] Medial Prefrontal Cortex- m-PFC
[53] Anterior Prefrontal Cortex- a-PFC

واکنش‌های احساسی یک انسان به محیط ساخته شده بسیار مهم است. سیستم‌های حسی مغز شامل سیستم بینایی، سیستم شنوایی، سیستم بویایی، حس چشایی، حس جسمانی (حس لامسه)، حس ششم و حس عمقی (که انقباضات عضلات و حرکات را کنترل می‌کند) است (۹۶). تاثیر معماری بر نحواحی مختلف مغز: رویکرد عصب‌شناسی با بهره‌گیری از ابزارهای نوین تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی (fMRI) نشان داده است، که ترجیح افراد بر فرم‌های منحنی نسبت به اشکال راست گوشه در فضای داخل بیشتر بوده و باعث افزایش فعالیت در قشر سینگولا قدامی[54] می‌شود (۱۲). برخی مطالعات به وسیلهٔ (fMRI) رابطهٔ اشکال اجسام را با تجربهٔ اساسی بررسی نموده، و فعال شدن آمیگدال[55] را به وسیلهٔ مشاهده اجسام نوک تیز نشان می‌دهند (۹۸-۹۷). تحقیقات اخیر دخالت قشر کمربندی میانی قدامی را در تصمیم‌گیری‌ها و اجتناب در مقابل فضاهای بسته نشان داده است (۹۹). همچنین ناحیهٔ پاراهیپوکامپ[56] (PPA) و مجموعهٔ اکسیپتال جانبی[57] (LOC) نقش کلی در ادراک سبک‌های معماری دارند (۱۰۰). در حالی که PPA برای اشکال با ویژگی‌های مستطیلی نیز فعال است، LOC توسط اشکال با ویژگی‌های منحنی فعال می‌شود (۱۰۱، ۱۷). علاوه بر این نواحی قشر بینایی V۱، V۲، V۳ و V۳a در درک اشکال سه‌بعدی درگیر هستند (۱۰۲). روش‌های تحقیق در معماری و علوم اعصاب: از منظر روش‌شناسی تعامل میان معماری و علوم اعصاب، به روش‌های اندازه‌گیری‌های ذهنی، تصویربرداری از مغز، داده‌های اطلاعاتی و اندازه‌گیری از طریق مشاهده قابل تقسیم می‌باشد. مطالعات در زمینهٔ تصویر برداری از مغز با بهره‌گیری از ابزارهای دیجیتال قابل مطالعه بوده و اندازه‌گیری‌های ذهنی به وسیلهٔ پرسشنامه‌های خود گزارش‌دهی قابل انجام می‌باشد. تکنیک‌های نگاشت شناختی و ذهنی، که پیشرو تکنیک‌های نقشه‌برداری فعلی بوده‌اند، شامل فرآیندهای شناختی می‌باشد که محققان را قادر می‌سازد اطلاعات مربوط به ماهیت محیط فضایی خود را کسب نمایند، کد گذاری کنند و ذخیره‌سازی نمایند تا به راحتی به یاد بیاورند و تغییرات را اعمال نمایند (۱۰۳). پیشرفت در فناوری‌های حسی زیستی، اطلاعاتی را جهت تجسم پاسخ‌های احساسی ارائه می‌دهد. تکنیک‌های نگاشت زیستی به بررسی پیامدهای ایجاد فناوری‌هایی می‌پردازند که می‌توانند حالات بدنی خود را ثبت، تجسم و به اشتراک بگذارند (۱۰۴). دستگاه‌های حسی زیستی فرصت‌های مطالعاتی جدیدی را ارائه می‌دهند که امکان اندازه‌گیری داده‌های بیولوژیکی در زمان واقعی را به جای زمان دستکاری شده ارائه می‌نماید (۱۰۵). پرسشنامهٔ خود گزارش‌دهی و مصاحبهٔ تحقیقی عموماً به وسیلهٔ متخصص تهیه شده و یا از سایر تکنیک‌های تحلیل برای گزارش وضعیت ذهنی انسان استفاده می‌کنند. مقیاس خلق‌وخوی برونل[58] که به نام BRUMS شناخته می‌شود، نمایهٔ حالات خلقی[59] (POMS)، هیجانات مثبت و منفی[60] (PANAS) و تست آدمک تصویری SAM[61]، از جمله پرسشنامه‌های مبتنی بر خود گزارش‌دهی می‌باشند که برای ارزیابی عملکردهای مغز استفاده می‌شود (۱۰۷-۱۰۶).

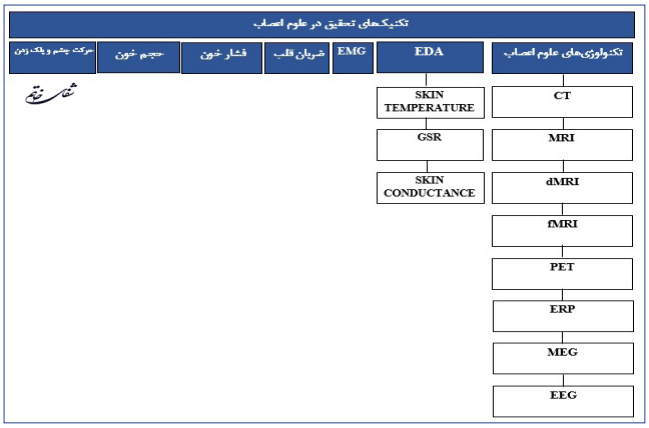
تکنیک‌های تحقیق در معماری و علوم اعصاب: برخی از تکنیک‌های تصویربرداری ساختار مغز را نمایش می‌دهند. یکی از این تکنیک‌ها CT[62] می‌باشد، که چندین اشعهٔ ایکس را از زوایای مختلف محاسبه می‌کند تا یک بخش افقی دوبعدی از مغز را ترسیم کند (۱۰۸). MRI[63] نیز عملکردی مشابه با CT دارد اما از یک میدان مغناطیسی قوی برای ترسیم تصویر دوبعدی با وضوح بالاتر و بخش‌های بیشتری نسبت



نمودار ۱- فرآیند مرور

[54] Anterior Cingulate Cortex
[55] Amygdala
[56] parahippocampal
[57] Lateral Occipital Complex
[58] Brunel Mood Scale
[59] Profile of Moods States
[60] Positive and Negative Affect Schedule
[61] Self- Assessment Manikin
[62] Computerized Tomography
[63] Magnetic Resonance Imaging

به CT استفاده می‌کند. تکنیک بعدی dMRI[۶۴] است، که دستگاهی پیشرفته‌تر بوده و امکان نقشه‌برداری از عصب‌های مغز را نیز فراهم می‌کند (۱۰۹). تکنیک‌های تصویربرداری عملکردی قادر هستند اطلاعات عملکردی را در قسمت‌های مختلف مغز ارائه دهند. PET[۶۵] یک تکنیک تصویربرداری عملکردی است که، جریان خون را برای تعیین فعالیت بافت مغز اندازه‌گیری می‌کند و در بررسی عملکردهای طبیعی و غیرطبیعی مغز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰۸). fMRI[۶۶] دستگاهی پیشرفته‌تر می‌باشد که تصاویر با ضخامت کم و با مقاطع مختلف از بدن تولید می‌کند (۱۱۰)، و از همان مفهوم PET استفاده می‌کند اما جریان خون محلی را اندازه‌گیری می‌کند (۱۱۰-۱۰۹، ۹۰) همچنین تعیین مناطق فعال مغز به علت فعالیت‌های مختلف یکی از رایج‌ترین اهداف در تجزیه‌وتحلیل داده‌های fMRI است (۱۱۱). اخیراً، تکنیک‌های پیشرفته‌تری به وجود آمده است که وضوح زمانی بالاتر و پاسخ سریع‌تر را ارائه می‌دهد و می‌تواند فعالیت مغز را در زمان واقعی اندازه‌گیری کند. EEG[۶۷] یکی از پیشرفته‌ترین تکنیک‌ها است، که نوسانات سیگنال‌های الکتریکی در سراسر مغز را با بهره‌گیری از الکترودهای حساسی که روی پوست سر انسان قرار دارد، اندازه‌گیری می‌کند. سیگنال‌های الکتریکی فوراً از چندین مکان الکترود جمع‌آوری می‌شوند که منجر به نقشه‌برداری فعالیت مغز در زمان واقعی می‌شود (۱۱۲). در این روش از کلاهک‌های دارای الکترودها استفاده می‌شود، به همین دلیل فرد در حین آزمایش می‌تواند حرکت کند (۱۱۳). MEG[۶۸] تغییرات کوچک در میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط جریان الکتریکی در مغز را اندازه‌گیری می‌کند و سیگنال‌ها توسط حسگرهای دستگاه تداخل کوانتومی ابررسانا (SQUID) درک می‌شوند. سیگنال‌ها بسیار کوچک هستند (۱۵-۱۰ Tesla) بنابراین برای جلوگیری از آلودگی، ضبط‌ها در یک اتاق ایزوله مغناطیسی انجام می‌شود (۱۰۸). همچنین TMS[۶۹] تکنیکی است که با ایجاد یک میدان مغناطیسی به وسیلهٔ القای الکترومغناطیسی در جمجمه کار می‌کند که باعث ایجاد یک جریان الکتریکی کوچک در مغز انسان شده و بافت عصبی را شبیه‌سازی می‌کند. به طور کلی برای ادراک بصری استفاده می‌شود، اما خطرناک بوده و ممکن است باعث تشنج شود به همین دلیل با احتیاط استفاده می‌شود (۱۱۴). در این میان تکنیک‌های تصویربرداری عصبی، منبع مفید اطلاعات هستند و داده‌هایی که آنها ارائه می‌دهند زیربنای روابط بین علوم اعصاب و معماری بوده و بیشتر در تحقیقات معماری عصب‌محور مورد استفاده قرار می‌گیرد. تکنیک‌های دیگری نیز موجود می‌باشند که بیشتر در تخصص علوم اعصاب استفاده می‌شوند.یکی از این تکنیک‌ها فاز جمله الکترومیوگرافی (EMG) است، که روشی بسیار دقیق برای آنالیز حالات صورت و سایر اندام‌ها می‌باشد، این تکنیک یک بررسی تشخیصی برای پی بردن به عملکرد عصب‌های بدن است (۱۱۵). همچنین فعالیت الکتریکی تولید شده توسط ماهیچه‌های اسکلتی را اندازه‌گیری می‌کند (۱۱۶). همزمانی پلک زدن (Eye blink) میزانی است که افراد در یک لحظه پلک می‌زنند. کاربرد این روش در زمانی است که افراد یک برنامه می‌بینند و یا داستانی را می‌شنوند در این صورت می‌توان در یک لحظه میزان درگیری آن‌ها را سنجید زیرا مغز هر بیننده به صورت غیر وابسته برای پلک زدن تصمیم می‌گیرد. فعالیت الکتریکی پوست یا الکترودرمال (EDA) میزان جریان الکتریسیته‌ای که از پوست عبور می‌کند را نشان می‌دهد؛ این عملکرد میزان تعریق پوست که از غدد عرق[۷۰] تولید می‌شوند را اندازه می‌گیرد. غدد عرق بخشی از سیستم عصبی خودکار می‌باشند. روش الکترودرمال با متصل کردن سنسورهای هدایت الکتریکی[۷۱] به کف دست‌ها و روی انگشت‌ها انجام می‌شود و میزان تغییرات تعریق سنجیده می‌شود (۱۱۷). فشارخون (Blood Pressure) و حجم خون (Blood Volume) از وجوه فعالیت‌های عروقی[۷۲] می‌باشند. فعالیت‌های عروقی به فعالیت سیستم عصبی ارادی شدیداً پاسخ نشان می‌دهند (۱۱۸-۱۱۷).



نمودار ۳- تکنیک‌های تحقیق در معماری و علوم اعصاب

64 Water Diffusion MRI
65 Positron Emission Tomography
66 Functional MRI
67 Electro-Encephalography
68 Magnetic Encephalography
69 Transcranial Magnetic Stimulation
70 Sweat glands
71 Electrical conductance sensors
72 Vascular activity

ابزاهای تحقیق در معماری و علوم اعصاب: محققان علوم اعصاب از ابزارهای دیجیتال جهت سنجش عکردهای عصبی بهره می‌برند. این ابزارهای دیجیتال مانند دستگاه‌های پوشیدنی، همچون کامپیوترهای کوچک قابل حمل مجهز به سنسورهای مختلف، مچبندهای حسگر (سیستم‌های مانیتور بدن)، GPS از ابزارهای مهم دیجیتالی می‌باشند (۱۰۵). همچنین از ابزارهای دیجیتالی دیگری همچون عینک ردیابی چشم[۷۳]، دوربین[۷۴]، یا میکروفون[۷۵] می‌توان استفاده نمود. علاوه بر این تجهیزات قابل حمل مانند عینک واقعیت مجازی[۷۶](VR) معمولاً در مطالعات عصب‌شناسی و معماری برای تقویت تجربیات ذهنی با ارائهٔ محیطی مشابه محیط واقعی استفاده می‌شود.

برای تجزیه و تحلیل و ترکیب تحولات مفهومی در این زمینه، مطالعات نظری (شامل کتاب‌ها، فصل‌های کتاب، بررسی‌ها و مقالات نظری) و مقالات تجربی در گروه‌های جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است و مفاهیم در حال توسعه و نوظهور که در مقالات بررسی شده‌اند، استخراج شده است. ۸۰ مطالعه در ابتدا معیارهای ورود به تحقیق را داشته ولی برخی از مطالعات به دلیل شباهت بسیار زیاد حذف گردیدند که در نهایت ۴۹ منبع وارد مرور شدند، در این میان ۲۹ مطالعه تئوری و ۲۰ مطالعه تجربی بوده است. در جدول زیر مطالعات تئوری مشخص شده‌اند. برخی از مطالعات تئوری تا حدودی مشابه یکدیگر بوده‌اند و می‌توان آن‌ها را در یک دسته قرار داد، همچنین برخی از مطالعات با یکدیگر تعامل و هم‌پوشانی داشته و در ادامهٔ هم هستند. در این میان برخی از مطالعات نیز کاملاً متفاوت شکل گرفته بودند. برخی مطالعات که عمدتاً در زمینهٔ محیط و

نمودار ۴- ابزارهای دیجیتال در تحقیقات علوم اعصاب و معماری

جدول ۲- مطالعات تئوری در زمینهٔ معماری و علوم اعصاب

ردیف	عنوان	سال	نویسندگان	مولفه مطالعه
۱	A critical review on the impact of built environment on users' measured brain activity	۲۰۲۰	Azzazy et al. (۱۱۹)	تندرستی
۲	Exploring the Influence of the Built Environment on Human Experience through a Neuroscience Approach	۲۰۲۰	Karakas et al. (۱۲۰)	تجربه انسانی
۳	Short- and long-term effects of architecture on the brain: toward theoretical formalization	۲۰۱۹	De Paiva and Jedon (۱۲۱)	سلامت مغز
۴	Towards a spatiality of wellbeing. In: School Spaces for Student Wellbeing and Learning	۲۰۱۹	Franz (۱۲۲)	تندرستی
۵	Eye-tracking in the real world: insights about the urban environment.	۲۰۱۸	Uttley et al. (۱۲۳)	تجربه چندحسی
۶	Neuroscience for architecture: how building design can influence behaviors and performance	۲۰۱۸	De Paiva (۱۲۴)	تجربه انسانی
۷	Getting under the(ir) skin: applying personas and scenarios with body-environment research for improved understanding of users' perspective in architectural design.	۲۰۱۸	Tvedebrink and Jelic (۱۲۵)	استرس محیطی
۸	Human brain and real estate: analyzing the relationship between qualitative space and price	۲۰۱۸	Ibrahimi and Ruci (۱۲۶)	سلامت مغز
۹	Wellness by design: thoughts on reshaping Brussels' public realm	۲۰۱۸	Kambli et al. (۱۲۷)	سلامتی
۱۰	Contemplative landscapes: toward healthier built environments	۲۰۱۸	Anna (۱۲۸)	سلامت روان

[73] Eye Tracker
[74] Camera
[75] Microphone
[76] Virtual reality

۱۱	Human behaviour and cognition of spatial experience; a model for enhancing the quality of spatial experiences in the built environment	۲۰۱۸	Rahimi et al. (۱۲۹)	تجربه فضا
۱۲	cognition and the built environment. In: Routledge Research in Planning and Urban Design.	۲۰۱۷	Moystad(۱۳۰)	شناخت فضا
۱۳	Effects on the design of transport systems of pedestrian dynamics	۲۰۱۷	Erkan (۱۳۱)	حرکت عابر پیاده
۱۴	Application of Neuroscience Principles for Evidence- Based Design in Architectural Education	۲۰۱۷	McIntosh and Jadavji (۱۳۲)	تصویرپذیری
۱۵	Quality of the Hospital Experience: Impact of the Physical Environment	۲۰۱۷	Devlin and Andrade (۱۳۳)	تندرستی
۱۶	Buildings, beauty, and the brain: a neuroscience of architectural experience	۲۰۱۷	Coburn et al. (۱۳۴)	تندرستی
۱۷	The enactive approach to architectural experience: a neurophysiological perspective on embodiment, motivation, and affordances	۲۰۱۶	Jelic et al. (۱۳۵)	تجسم
۱۸	When neuroscience 'touches' architecture: from hapticity to a supramodal functioning of the human brain	۲۰۱۶	Papale et al. (۸۰)	احساس عمیق
۱۹	Access for all! Neuro-architecture and equal enjoyment of public facilities	۲۰۱۵	Gillen (۱۳۶)	اکتشاف
۲۰	John Dewey and the dialogue between architecture and neuroscience	۲۰۱۵	Robinson (۱۳۷)	ترمیم سلامت
۲۱	Designing "pre-reflective" architecture	۲۰۱۵	Jelic (۱۳۸)	سناریو در معماری
۲۲	Cognitive Architecture: Designing for How We Respond to the Built Environment	۲۰۱۵	Sussman and Hollander (۴۰)	ناوبری فضایی
۲۳	Neuroscience and architecture. In: The Routledge Companion for Architecture Design and Practice	۲۰۱۵	Edelstein (۸۱)	تقارن دو طرفه
۲۴	Spatial cognition and architectural space: research perspectives	۲۰۱۴	Montello (۱۳۹)	تصویرپذیری
۲۵	Chrono bioengineering indoor lighting to enhance facilities for ageing and Alzheimer's disorder	۲۰۱۳	Ellis et al. (۱۴۰)	طراحی فضاهای درمانی
۲۶	The evolution of neuroscience for architecture: introducing the special issue.	۲۰۱۳	Dougherty and Arbib (۱۴۱)	تندرستی
۲۷	Architecture and Embodiment the Implications of the New Sciences and Humanities for Design	۲۰۱۳	Mallgrave (۱۴۲)	پاریدولیا
۲۸	Form follows function: bridging neuroscience and architecture. In: Sustainable Environmental Design in Architecture	۲۰۱۲	Edelstein and Macagno (۱۱)	شادی

رفتار بوده‌اند، بر مبنای مباحثی همچون سلامتی[۷۷] (۱۱۹، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۴۰، ۱۴۱) که به بررسی تاثیر فضای معماری بر سلامتی انسان از طریق مولفه‌های تجربهٔ فضا، کیفیت فضا، مرز و حریم، منظر، نورپردازی و تاثیر کوتاه مدت و بلند مدت فضا پرداخته‌اند جزء مقالات مشابه محسوب می‌شوند. علاوه بر این تحقیقات دیگر در رابطه با بازیابی سلامتی[۷۸] از طریق تاثیر فضا بر مغز، تصویریابی[۷۹] از طریق شناخت، مسیریابی[۸۰] و نحوهٔ حرکت در فضا، تجربهٔ چندحسی[۸۱] و دریافت اطلاعات به وسیلهٔ چند حواس به صورت همزمان، تجربهٔ فضا[۸۲] از طریق حرکت و ادراک در حین حرکت، جهت‌یابی فضا[۸۳] و شناخت فضا[۸۴] صورت گرفته‌اند که، این مطالعات دارای تشابه می‌باشند (۱۳۹، ۱۳۷، ۱۳۲، ۱۳۱، ۱۳۰، ۱۲۹، ۱۲۴، ۱۲۳، ۱۲۰، ۴۰). مطالعات دیگر مانند حس عمیق[۸۵] از طریق مبانی شناختی مشترک بین عملکرد مغز و معماری، استرس محیطی[۸۶] که از طریق برخی مولفه‌های معماری

[77] Well-being
[78] Restorativeness Healt
[79] Imageability
[80] Wayfinding
[81] Multisensory Experience

[82] Spatial Experience
[83] Spatial Navigation
[84] Spatial Cognition
[85] Proprioception
[86] Environmental Stress

محیط ساخته شده القا می‌گردد و تقارن دوطرفه[87] میان معماری و علوم اعصاب به عنوان علم نوین، دارای همپوشانی هستند (۱۲۵، ۸۱، ۸۰). در این میان چهار مطالعهٔ تئوری کاملاً متفاوت بوده و مفاهیم نوآورانه را مورد بررسی قرار داده‌اند، از جمله تجسم[88]، شادی[89]، اکتشاف[90]، پاریدولیا[91] جزء این دسته از مطالعات قرار می‌گیرند (۱۴۲، ۱۳۶، ۱۳۵، ۱۱). با این‌حال چند مفهوم مطرح در معماری همچون حس مکان[92]، حس تعلق به مکان[93] و هویت مکان در تحقیقات تئوری معماری و علوم اعصاب مورد مطالعه قرار نگرفته است. قابل بیان است از آن‌جا که تمرکز پژوهش حاضر بر روی تحقیقات تجربی بوده است، به تحلیل تحقیقات تئوری تا اینجا اکتفا نموده و در ادامه ابتدا تحقیقات تجربی مستخرج از مرور سیستماتیک معرفی گردیده و سپس به بررسی دقیق آن‌ها از نظر ابزار، روش و نتایج پرداخته شده است.

جدول ۳- مطالعات تجربی در زمینهٔ معماری و علوم اعصاب

ردیف	عنوان	سال	نویسندگان	نوع مقاله	کشور	ژورنال
۱	Use of biometric data and EEG to assess architectural quality of two office spaces: a pilot experiment	۲۰۲۰	Bacevice and Duco (۱۴۳)	Research Article	آمریکا	Architectural Science Review
۲	A neurocognitive study of the emotional impact of geometrical criteria of architectural space	۲۰۲۰	Shemesh et al. (۱۴۴)	Original Articles	اسرائیل	Architectural Science Review
۳	Built Environment Evaluation in Virtual Reality Environments A Cognitive Neuroscience Approach	۲۰۲۰	Hu and Roberts (۱۴۵)	Original Article	آمریکا	Urban science
۴	Multisensory stress reduction: a neuroarchitecture study of paediatric waiting rooms	۲۰۲۰	Higuera-Trujillo et al. (۵)	Original Article	اسپانیا	Architectural Science Review
۵	Sensorimotor brain dynamics reflect architectural affordances	۲۰۱۹	Djebbara et al. (۱۴۶)	Original Article	دانمارک	Proceedings of the National Academy of Sciences
۶	Bedroom design orientation and sleep electroencephalography signals	۲۰۱۹	Hekmatmanesh et al. (۱۴۷)	Original Article	فنلاند	Acta Medica International
۷	Neural representation of different ۳D architectural images: an EEG study	۲۰۱۹	Murcia et al. (۱۴۸)	Research Article	اسپانیا	Integrated Computer Aided Engineering
۸	Probing phenomenological experiences through electroencephalography brainwave signals in neuroarchitecture study	۲۰۱۹	Vijayan and Embi (۱۴۹)	Original Article	مالزی	International Journal of Built Environment and Sustainability
۹	Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality	۲۰۱۹	Yin et al. (۱۵۰)	Original Article	آمریکا	Indoor Air
۱۰	Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG)	۲۰۱۸	Erkan (۱۵۱)	Original Article	ترکیه	Architectural Science Review
۱۱	Towards quantifying human experience in the built environment: a crowdsourcing based experiment to identify influential architectural design features	۲۰۱۸	Ergan et al. (۱۵۲)	Original Article	آمریکا	Journal of Building Engineering
۱۲	Affective response to architecture investigating human reaction to spaces with different geometry	۲۰۱۷	Shemesh et al. (۱۵۳)	Original Article	اسرائیل	Architectural Science Review
۱۳	Walking through architectural spaces: the impact of interior forms on human brain dynamics. Front. Hum	۲۰۱۷	Banaei et al. (۵۰)	Original Article	آلمان	Frontiers in human neuroscience
۱۴	Externally- induced meditative states: an exploratory fMRI study of architects' responses to contemplative architecture. Front	۲۰۱۷	Bermudez et al. (۱۵۴)	Research Article	آمریکا	Frontiers of Architectural Research
۱۵	Human physiological responses to wooden indoor environment	۲۰۱۷	Zhang et al. (۱۵۵)	Original Article	چین	Physiology & Behavior
۱۶	Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments	۲۰۱۵	Vecchiato et al. (۱۵۶)	SHORT REPORT	ایتالیا	Cognitive Processing
۱۷	Architectural Design and the Brain: Effects of Ceiling Height and Perceived Enclosure on Beauty Judgments and Approac -Avoidance Decisions	۲۰۱۵	Vartanian et al. (۹۹)	Original Article	کانادا	Journal of Environmental Psychology
۱۸	the spatial frequencies influence the aesthetic judgment of buildings transculturally	۲۰۱۴	Vannucci et al. (۱۵۷)	Report article	ایتالیا	Cognitive Processing

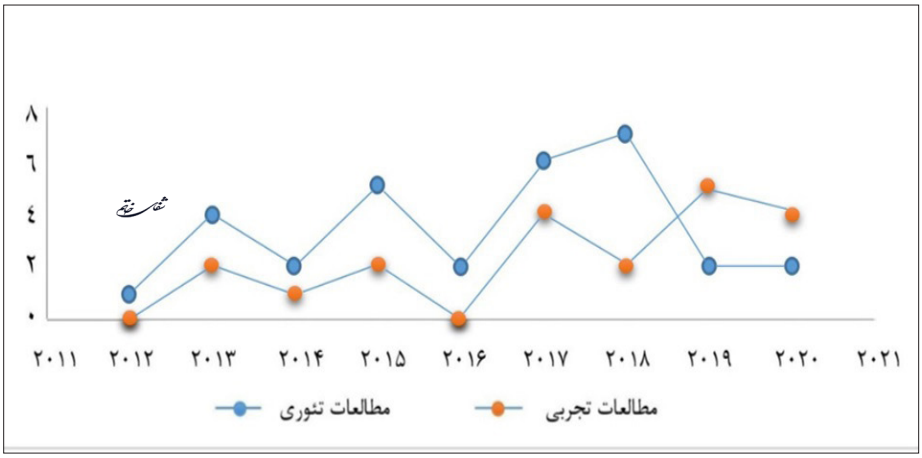
[87] bilateral Symmetry
[88] Embodiment
[89] Hapticity
[90] Pareidolia
[91] Sense of Place
[92] Sense of Belonging to a Place
[93] Place Identity

۱۹	Exploration of neural correlates of restorative environment exposure through functional magnetic resonance	۲۰۱۳	Martı´nez-Soto et al. (۱۵۸)	Research Articles	مکزیک	Architectural Science Review
۲۰	Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture	۲۰۱۳	Vartanian et al. (۱۲)	RESEARCH ARTICLE	کانادا	Proceeding of the national academy of sciences

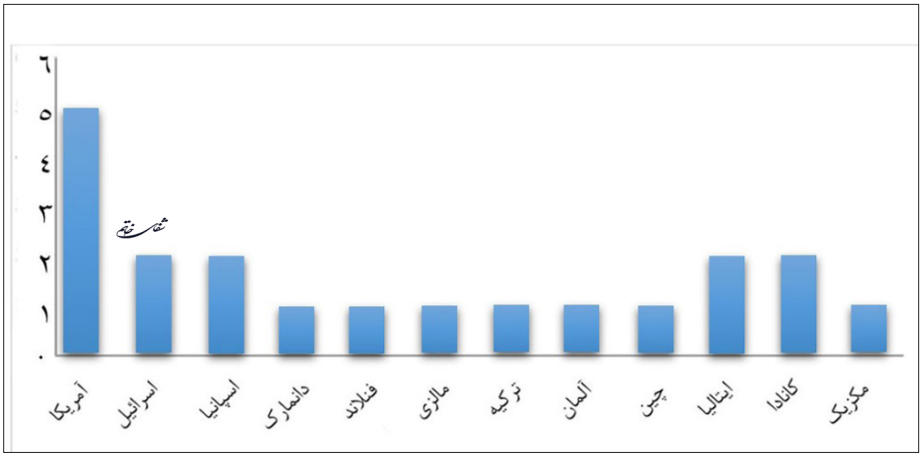
جهت بررسی گسترهٔ زمانی و مکانی تحقیقات تجربی، دو نمودار ترسیم شده است که، میزان فراوانی تعداد تحقیقات و سال چاپ در دو محور نمودار گسترهٔ زمانی، بیانگر رشد صعودی مطالعات تا سال ۲۰۱۸ بوده است که پس از آن تعداد مطالعات در این زمینه کاهش یافته است. همچنین این نمودار فراوانی تعداد مطالعات تئوری در برابر مطالعات تجربی را نشان می‌دهد، این این موضوع به دلیل چالش‌برانگیز بودن مطالعات تجربی در مقابل مطالعات تئوری و دشواری دسترسی به ابزارهای آزمایش در مطالعات تجربی بوده است. در نمودار گسترهٔ مکانی، میزان فراوانی تحقیقات تجربی که تمرکز پژوهش حاضر بر آن است و مکان تحقیق در دو محور نمودار مشخص شده است. طبق نمودار بیش‌ترین تحقیقات تجربی در آمریکا و پس از آن در کانادا، ایتالیا، اسپانیا، اسرائیل و پس از آن‌ها دیگر کشورها با سهم کمتری انجام شده است، همچنین فقدان تحقیقات در این زمینه در کشور ایران را نشان می‌دهد.

پس از بررسی تحقیقات تجربی مشخص می‌شود که، نتایج مطالعات معماری و علوم اعصاب با پاسخ‌های رفتاری، احساسی و شناختی همراه است، که به صورت آگاهانه یا ناخودآگاه بروز می‌یابد. با تحلیل و بررسی دقیق تحقیقات تجربی روشن گردید، که مطالعات در پنج زمینهٔ اصلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند. با وجود این‌که مولفه‌های مورد مطالعه در این تحقیقات متفاوت می‌باشند، اما در پنج دستهٔ کلی قابل تقسیم هستند. برخلاف مطالعات تئوری که گاه همپوشانی داشته و یا مشابه بودند، مطالعات تجربی قابل تفکیک بوده و مرز مطالعاتی بین آن‌ها قابل مشاهده است. پنج دستهٔ قابل مذکور به این شرح است: ۱- کاهش استرس در محیط ساخته شده جهت دستیابی به سلامت روانی و جسمانی ۲- قضاوت در مورد زیبایی‌شناسی در حین درک ویژگی‌های محیط ساخته شده ۳- مسیریابی، آشنایی مسیر ۴- توجه و تاکید بر عناصر بصری ۵- تجربهٔ انسانی، احساسات مثبت و منفی انسان در محیط ساخته شده

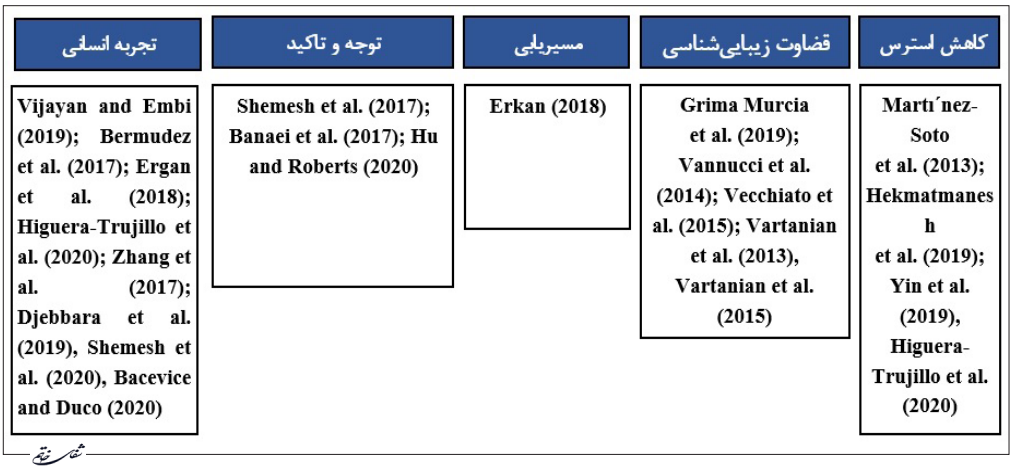
در تحقیقات تجربی از روش‌ها و ابزارهای مختلفی برای اندازه‌گیری پاسخ‌های انسانی در مقابل فضای معماری



تصویر ۱- فراوانی مطالعات تجربی و تئوری در گسترهٔ زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰



تصویر ۲- گسترهٔ مکانی مطالعات تجربی



نمودار ۵- دسته‌بندی مطالعات تجربی بر اساس مولفهٔ مورد مطالعه

استفاده شده است. برخی از مطالعات از تکنیک‌های علوم اعصاب همچون fMRI, EEG, EDA, HRV، برخی با بهره‌گیری از تکنیک‌های خودگزارش‌دهی self- report، و برخی با استفاده از تکنیک‌های پرسشنامه post- test measurements, aesthetic judgment tasks rankings, questionnaire به مطالعهٔ این تاثیر پرداخته‌اند. همچنین برخی از مطالعات از ابزارهای دیجیتال GIS, GPS, BI, crowd-sourcing، یا ابزارهای قابل پوشیدن body sensors, Eye tracker، و یا از تکنیک مشاهده با بهره‌گیری از video recording به مطالعهٔ پاسخ‌های انسانی پرداخته‌اند. برخی از تحقیقات ترکیبی از تکنیک‌های نام برده را استفاده نموده‌اند تا به پاسخ دقیق‌تری دست یابند. فضاهای معماری در تحقیقات تجربی به حالت‌های فضای واقعی، فضای مجازی سه‌بعدی و تصویر دوبعدی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در فضای واقعی، جامعهٔ آماری در فضای فیزیکی معماری حضور داشته‌اند و از ابزارهای قابل حمل جهت اندازه‌گیری پاسخ‌های انسانی استفاده نموده‌اند، برخی از مطالعات از فضای واقعیت مجازی VR و برخی از تصاویر فضای معماری بهره برده‌اند. در جدول زیر ابزارهای تحقیقات به تفکیک هر مطالعه ارائه گردیده است، قابل بیان است که برخی مطالعات به ویژگی‌های مکانیکی و قابلیت‌های دستگاه اشاره نموده‌اند و برخی تنها به نوع دستگاه اکتفا کرده‌اند.

مطالعات تجربی بر روی کاربری‌های مختلفی صورت گرفته است. در این میان بیش‌ترین میزان فراوانی بر روی کاربری مسکونی و پس از آن اداری و درمانی می‌باشد. برخی از مطالعات بدون تمرکز بر روی کاربری خاصی فضای داخلی معماری را مورد مطالعه قرار داده‌اند

جدول ۴- ابزارهای مورد استفاده در مطالعات تجربی

روش‌شناسی آزمایش	تکنولوژی اندازه‌گیری و سنجش	نویسندگان/ سال	مولفه معماری
فضای فیزیکی واقعی، شرکت معماری در سطح جهانی	EEG, heart rate monitor, ECG, data were recorded with inexpensive, consumer grade wearables manufactured by Apple (Apple Watch), Coospoo (chest strap heart monitor), Jarv (chest strap heart monitor), and NeuroSky (Mindwave Mobile)	Bacevice and Duco (2020)	تجربه انسانی
محیط داخلی طراحی شده به صورت مجازی	EEG, GSR, ET	Shemesh et al. (2020)	
محیط داخلی طراحی شده به صورت مجازی	EG 64 channels, MoBI setup, EEG amplifier ANT eegoSports with Zotac gaming computer	Djebbara et al. (2019)	
فضای داخلی اتاق انتظار بیمارستان با طراحی مجازی	EEG, b-Alert x10. EDA (Shimmer 3GSR+ device) HRV (b-Alert x10 device)	Higuera-Trujillo et al. (2020)	
فضای فیزیکی واقعی مسجد	EEG	Vijayan and Embi (2019)	
محیط داخلی طراحی شده به صورت مجازی	EEG 14 channels, GSR, PPG (HRV), fEMG, Eye-tracking	Ergan et al. (2018)	
تصاویر دوبعدی معماری	fMRI and self-reports	Bermudez et al. (2017)	
محیط فیزیکی واقعی اداری	(ECG), skin resistance measuring method, skin temperature measuring method.	Zhang et al. (2017)	
محیط خارجی معماری با طراحی مجازی	EEG	Hu and Roberts (2020)	توجه و تاکید
محیط داخلی طراحی شده به صورت مجازی	EEG, 128 electrodes. Mobile Brain/Body Imaging (MoBI) setup	Banaei et al. (2017)	
سالن معماری با طراحی مجازی	EEG 14 channels, EMOTIV	Shemesh et al. (2017)	
محیط داخلی طراحی شده به صورت مجازی	EEG 1 channel, NeuroSky, MindWave	Erkan (2018)	مسیریابی

فضای داخلی اتاق خواب طراحی شده به صورت مجازی	EEG	Murcia et al. (2019)	قضاوت زیبایی‌شناسی
فضای معماری طراحی شده به صورت مجازی	EEG 24 channels, 19 disposed of, EBneuro. EDA (SCL), NeXus-4. HR	Vecchiato et al. (2015)	
تصاویر دوبعدی فضای داخلی	fMRI	Vartanian et al. (2015)	
تصاویر دوبعدی تزئینات معماری	aesthetic judgment tasks, and rankings	Vannucci et al. (2014)	
تصاویر دوبعدی فضای داخلی	fMRI	Vartanian et al. (2013)	
فضای داخلی اتاق انتظار بیمارستان با طراحی مجازی	EEG 10 channels, b-Alert x10. EDA (Shimmer 3GSR+ device) HRV (b-Alert x10 device	Higuera-Trujillo et al. (2020)	کاهش استرس
فضاهای اداری با طراحی مجازی	BP, HR, HRV, and SCL	Yin et al. (2019)	
اتاق خواب با طراحی مجازی	EEG	Hekmatmanesh et al. (2019)	
عکس هایی با پتانسیل ترمیمی کم یا زیاد (به ترتیب LRP وHRP)	self-reported stress, fMRI	Martı´nez-Soto et al. (2013)	

که نتایج به دست آمده از این اطلاعات قابل بسط به تمامی فضاهای معماری می‌باشد. در جدول زیر نوع فضای مورد مطالعه و نحوهٔ مطالعهٔ آن ارائه گردیده است. با وجود این‌که نتایج مطالعات تئوری ارزشمند می‌باشد اما نتایج مطالعات تجربی اصولی را ارائه می‌دهد که کاربردی بوده و برای طراحی معماری نیز سودمند می‌باشد. علاوه بر این برخی از این مطالعات ناحیه‌ای از مغز را که با قرارگیری در

جدول ۵- فضاهای مورد تحقیق در مطالعات تجربی

زمینهٔ مطالعاتی معماری	نویسندگان / سال	فضای معماری	مولفه معماری
مقایسه دو فضای اداری	Bacevice and Duco (2020)	اداری	تجربه انسانی
فضای معماری، با تمرکز بر جنبه هندسه	Shemesh et al. (2020)	طراحی داخلی	
توانمندی های معماری	Djebbara et al. (2019)	طراحی داخلی	
عناصر بینایی، شنوایی و بویایی و سطوح استرس، اتاق انتظار	Higuera-Trujillo et al. (2020)	فضای درمانی	
محوطه نماز مسجد	Vijayan and Embi (2019)	مسجد	
تجربه انسانی در فضای معماری	Ergan et al. (2018)	طراحی داخلی	
پنج ساختمان محرک تفکر - پانتئون (رم)، کلیسای جامع شارتر (فرانسه)، الحمرا (اسپانیا)، کلیسای کوچک رونشانمپ (فرانسه)، و موسسه سالک (کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا) و زندگی شهری معاصر آمریکا	Bermudez et al. (2017)	ساختمان	
محیط داخلی چوبی	Zhang et al. (2017)	طراحی داخلی	
بررسی (الف) انواع ساختمان (BT) (ب) ویژگی‌های طبیعی(NF) ، (ج) مشخصات خیابان(SF) ، (د) ویژگی های معماری(AF) ، (ه) ایوان جلو (FP)، (f) ارتفاع ساختمان (BH)	Hu and Roberts (2020)	ساختمان مسکونی (محیط بیرونی)	توجه و تاکید
فرم‌های معماری داخلی	Banaei et al. (2017)	ساختمان مسکونی (نشیمن)	
واکنش انسان به فضاهایی با هندسه متفاوت	Shemesh et al. (2017)	طراحی داخلی	
رفتار راه یابی در سه فضای با ارتفاع های مختلف	Erkan (2018)	طراحی داخلی	مسیریابی

مقایسه تصاویر واقعی و کامپیوتری طراحی شده از اتاق خواب	Murcia et al. (2019)	ساختمان مسکونی ((اتاق خواب	قضاوت زیبایی‌شناسی
ادراک معماری	Vecchiato et al. (2015)	ساختمان مسکونی ((اتاق خواب	
قضاوت‌های زیبایی شناختی و تصمیمات اجتنابی رویکرد در طراحی معماری (ارتفاع سقف، محوطه)	Vartanian et al. (2015)	ساختمان مسکونی (فضای داخلی)	
تصاویر تزئینات معماری	Vannucci et al. (2014)	نمای ساختمان	
مقایسه فضاهای مستطیل با ارتفاع سقف مختلف (بالا، کم) و مقایسه فضای باز و بسته (باز، محصور)	Vartanian et al. (2013)	ساختمان مسکونی (فضای داخلی)	
بررسی عناصر بینایی، شنوایی و بویایی و سطوح استرس، اتاق انتظار	Higuera-Trujillo et al. (2020)	فضای درمانی	کاهش استرس
طراحی بیوفیلیک در فضاهای اداری باز و بسته شبیه‌سازی شده	Yin et al. (2019)	اداری	
جهت گیری تخت بر روی کیفیت خواب برای بهبود طراحی اتاق خواب	Hekmatmanesh et al. (2019)	اتاق خواب	
مقایسه محیط طبیعی و محیط ساخته شده بدون طبیعت	Martı´nez-Soto et al. (2013)	محیط ساخته شده	

معرض فضای معماری فعال می‌شوند را نیز مشخص کرده‌اند. در ادامه نتایج هر یک از مطالعات به طور عمومی به همراه ابزارها و فرآیند مطالعه توضیح داده شده و در نهایت در جدول نتایج به صورت اختصاصی چگونگی تاثیر فضای معماری بر مغز اشاره شده است. نتایج مطالعات تجربی Human experience: در تحقیق تجربی اول در این دستهٔ مطالعاتی (۲۰۲۰)، Bacevice and Duco دو فضای اداری، قدیمی که فضای خدماتی (کافه جهت استراحت) در نزدیکی محل کار و دفتر جدید که فضای خدماتی در طبقه‌ای مجزا و نزدیک به ورودی قرار داشته است، را با تمرکز بر روی تاثیر مکان‌یابی فضای خدماتی بر پاسخ‌های انسانی مورد بررسی قرار داده‌اند، و نشان دادند که، تفاوت‌های بیومتریک قابل قبولی میان دو فضای اداری وجود داشته است. دور بودن فضای خدماتی از محل کار باعث تغییرات فیزیولوژیک در کارمندان همراه با کاهش استرس بوده است، و قرارگیری فضای خدماتی در میان محیط کاری باعث افزایش سطوح متوسط بالاتر بتا/ گاما همراه با افزایش ضربان قلب شده است. علاوه بر این وجود فضاهای خدماتی بیشتر همچون انبار خصوصی و فضای باز اداری آسایش بیشتری را گزارش می‌کند. این موضوع بیانگر این است، که حتی موقعیت قرارگیری فضا نیز بر فعالیت‌های مغزی انسان تاثیرگذار می‌باشد. در تحقیق تجربی دیگر این دسته (۲۰۲۰) Shemesh et al. تاثیر هندسه‌های مختلف فضای معماری را، بر واکنش‌های هیجانی طبق معیارهای مقیاس، تناسبات، برآمدگی و انحنا با ثبت پاسخ‌های فیزیولوژیکی مختلف به محرک‌های بصری سه‌بعدی بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش بیانگر تاثیر مثبت فضاهای متقارن و بزرگ بر کاربران است، و در فضاهای باریک پریشانی تشخیص داده شده است. مشخص گردیده است که هرچه معیار برآمدگی در فضا نامتقارن، پیچیده‌تر و دارای انحنای بیشتر باشد، پاسخ‌های احساسی مثبت‌تر و قوی‌تری ثبت می‌شود. در مطالعهٔ Djebbara et al (۲۰۱۹) ارتباط ادراک با حرکت یا مجزا بودن آن را، با بهره‌گیری از رویکرد تصویربرداری مغز به صورت سیار و با تعریف فضاهای غیرقابل عبور تا به راحتی قابل عبور را، مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که فعالیت‌های مغز در فضاهای تعریف شده متفاوت بوده و بر ادراک در طی حرکت تاثیر می‌گذارد. Higuera- Trujillo et al (۲۰۲۰) با بررسی تاثیر منابع رضایت محیطی طراحی مرکز بهداشتی در کاهش استرس همراهان بیماران در خدمات اطفال، که در چهار اتاق انتظار شبیه‌سازی شده مورد آزمایش قرار گرفته است، نشان دادند که ترکیبی از منابع رضایت محیطی یک اثر هم‌افزایی مهم در سطوح روانشناختی و فیزیولوژیکی عصبی ایجاد می‌کند و محرک‌های شنیداری و بویایی اهمیت فراوانی در کاهش استرس در این فضا داشته است. مطالعات دیگر همچون Vijayan and Embi (۲۰۱۹) با بررسی تاثیر محیط ساخته شده بر فیزیولوژی انسان در فضای مذهبی با تاکید بر تجربیات پدیدار شناختی و بهره‌گیری از دستگاه EEG قابل حمل نشان داده‌اند که، حضور مخاطبین در محوطهٔ نماز مسجد باعث ایجاد آرامش شده و سطوح هیجان و درگیری بالاتری در مراحل قبل از ورود و بعد از خروج از

مسجد شناسایی شده است. از این‌رو اثبات کرده‌اند که حضور در فضای مذهبی باعث تغییرات فعالیت‌های مغزی شده است. Ergan et al (۲۰۱۸) ویژگی‌های معماری که مخاطب بلافاصله با حضور در فضا متوجه آن‌ها می‌شود، و بر فیزیولوژیک وی تاثیر می‌گذارد را تعریف و کمیت تاثیر آن را تعیین کرده است و ترتیبی از ویژگی‌های طراحی شناسایی شده را بر اساس میزان قابل توجه بودن و تاثیرگذاری آن‌ها ارائه داده است، و بیان نموده است با حضور در فضای معماری، تغییرات فیزیولوژی همراه با توجه به جزئیات شکل می‌گیرد. در تحقیق Zhang et al (۲۰۱۷) پاسخ‌های فیزیولوژیکی متمایز به محیط‌های داخلی چوبی و غیرچوبی با آزمایش‌های پارامترهای فیزیولوژیکی از جمله فشار خون، اندازه‌گیری‌های الکتروکاردیوگرام، فعالیت الکترودرمال، اشباع اکسی‌هموگلوبین، دمای پوست و دید مورد مطالعه قرار گرفته است، و مشخص گردید که محیط چوبی تنش و خستگی کمتر و تاثیر مثبتی در طولانی مدت بر ساکنین داشته است. در آخرین تحقیق این دسته Bermudez et al (۲۰۱۷) میزان همبستگی مغز با حالت‌های درونی برانگیخته شده توسط فضای معماری برای تجربه تفکر در فضا، در ۱۲ معمار با ابزارهای تصویربرداری مغز و روش خودگزارش‌دهی مورد تحلیل قرار گرفته و مشخص کرده‌اند که دیدن ساختمان‌هایی که برای تفکر طراحی شده‌اند می‌توانند نشانه‌های تجربی و مغزی را برانگیزد و با تاثیر ساختمان‌های روزمره متفاوت است. Attention and emphasis : در تحقیقات دستهٔ دوم، Hu and Roberts (۲۰۲۰) با بهره‌گیری از رویکرد مبتنی بر داده برای ارزیابی و اعتبارسنجی کیفیت محیط ساخته شده بر اساس اندازه‌گیری پاسخ‌های احساسی در محیط‌های شبیه‌سازی شده، همبستگی میان ویژگی‌های طراحی معماری با حالت‌های هیجانی را اثبات کرده است. همچنین Banaei et al (۲۰۱۷) به بررسی همبستگی‌های عصبی فیزیولوژیکی اشکال داخلی مختلف بر روی حالت هیجانی ادراک‌کنندگان پرداخته‌اند و فعالیت مغزی آن‌ها را با استفاده از روش تصویربرداری سیار مغز/ بدن و الکترونسفالوگرام در حالی که در واقعیت مجازی قدم می‌زنند، ثبت کرده‌اند و نشان داده‌اند که فعالیت باند تتا در قشر کمربندی قدامی با انواع ویژگی‌های خاص هندسی مرتبط است. Shemesh et al (۲۰۱۷) چارچوب و روشی را برای بررسی تجربی و اندازه‌گیری پاسخ‌های انسان به انواع مختلف هندسه‌های فضای معماری با دو روش کیفی (پرسشنامه) و کمی (الکترونسفالوگرام) تبیین نموده‌اند و تفاوت فعالیت‌های مغزی در برابر هندسه‌های مختلف را مشخص کرده‌اند. Wayfinding: در این دسته تحقیقاتی که تنها یک مطالعه وجود دارد، Erkan (۲۰۱۸) تاثیر جنسیت، سن، سطح تحصیلات به همراه یکی از مولفه‌های معماری یعنی ارتفاع سقف بر پردازش شناختی و راهیابی مورد مطالعه قرار داده، و تاثیر آن بر طراحی معماری با استفاده از روش تصویربرداری مغزی را بررسی کرده است و مشخص نموده است که، رفتار راه‌یابی با ویژگی‌های فردی و اجتماعی افراد مرتبط است و ارتفاع فضا بر رفتار راه‌یابی تأثیر می‌گذارد. Aesthetics judgment: در این دسته مطالعاتی (۲۰۱۹) Murcia et al قضاوت ذهنی مدل‌های واقعی معماری و فرآیندهای شناختی مرتبط با ادراک زیبایی‌شناختی معماری را مورد بررسی قرار داده‌اند و اثبات کرده‌اند، که تفاوت قابل توجهی در پردازش مغزی تصاویر اتاق خواب وجود دارد و تصاویر واقعی لذت‌بخش‌تر هستند، که می‌توانند بر قضاوت زیبایی‌شناختی تأثیر بگذارد. در تحقیق دیگر Vecchiato et al (۲۰۱۵) چارچوب نظری و تجربی منسجم از چگونگی تاثیر معماری بر انسان بر اساس ابعاد آشنایی، تازگی، راحتی، دلپذیری، برانگیختگی و حضور را تبیین نموده‌اند. نتیجه تجزیه و تحلیل همبستگی در قضاوت‌های شخصی نشان داده است که نمرات تازگی، خوشایند و راحتی همبستگی مثبت دارند، در حالی که آشنایی و تازگی در جهت منفی هستند. همچنین فعال‌سازی‌های مغزی زیربنای لذت از فضای معماری بوده‌اند و قادر هستند مکانیسم‌های مختلفی را درگیر کنند که واکنش‌های جسمی، احساسی و شناختی را تنظیم می‌کنند. (۲۰۱۵) Vartanian et al اثرات ارتفاع سقف و میزان باز یا بسته بودن فضای معماری را به‌عنوان نفوذپذیری بصری درک شده، بر قضاوت‌های زیبایی شناختی و تصمیمات اجتناب از فضا مورد تحلیل قرار داده و از تصویربرداری تشدید مغناطیسی کاربردی برای کشف همبستگی‌های عصبی استفاده نموده و نشان داده‌اند که ارتفاع سقف در زیبایی‌شناسی فضا تاثیرگذار بوده، و کاهش نفوذپذیری بصری در فضاهای محصور ممکن است یک واکنش عاطفی را برانگیزد که با تصمیمات خروج همراه است. تحقیقات دیگر در این دسته مطالعاتی، (۲۰۱۴) Vannucci et al چگونگی قضاوت زیبایی‌شناختی ساختمان‌هایی با رتبه بالا و پایین در زیبایی تحت‌تأثیر تفاوت‌های تخصصی، فرهنگی و ویژگی‌های فردی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است، که قضاوت زیبایی‌شناختی بصری به شدت با ادراک بصری مرتبط است و زیبایی‌شناختی به جنبهٔ کلی پردازش اطلاعات بصری مربوط می‌شود. همچنین (۲۰۱۳) Varta-

nian et al با مطالعهٔ چگونگی تاثیر فضای معماری بر عملکرد مغز، تغییرات سیستماتیک مغز موثر بر قضاوت‌های زیبایی‌شناختی و تصمیم‌های اجتناب از فضا را روشن نموده و مشخص کرده‌اند که فضاهای منحنی از فضاهای مستطیل شکل زیباتر تحلیل شده است، و ترکیب شواهد رفتاری و عصبی ما بر نقش احساسات و ترجیح ما برای اشیاء منحنی تاکید دارد. Reducing stress: در تحقیقات مرتبط با کاهش استرس، Yin et al (۲۰۱۹) فرضیهٔ بیوفیلیک در فضای اداری را در سه مدل از فضای باز و بستهٔ شبیه‌سازی شده در واقعیت مجازی با اندازه‌گیری فشار خون، ضربان قلب، تغییرپذیری ضربان قلب و سطح هدایت پوست مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که حضور بیوفیلیک در فضای اداری باعث کاهش شاخص‌های استرس فیزیولوژیکی شده و خلاقیت بالاتری را باعث می‌گردد. در تحقیق دیگر Hekmatmanesh et al (۲۰۱۹) برای بررسی میزن تاثیرگذاری جهت‌گیری در طراحی فضای اتاق خواب بر سلامت انسان، تأثیر میدان الکترومغناطیسی زمین (EMF) بر سیگنال‌های الکتروآنسفالوگرافی خواب را با استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال ارزیابی نموده‌اند و مشخص کرده‌اند که تغییرات معنی‌داری در فرکانس‌های دلتا، تتا و آلفا از نظر جهت‌گیری موقعیت خواب وجود دارد و سیگنال‌های خواب می‌توانند به میدان الکترومغناطیسی زمین حساس هستند. همچنین Martı´nez- Soto et al (۲۰۱۳) همبستگی‌های عصبی قرار گرفتن در معرض محیط طبیعی را با تصویربرداری رزونانس مغناطیسی کاربردی بررسی کرده‌اند و نشان دادند که تماشای محیط طبیعی باعث کاهش استرس گشته و این موضوع در مشاهدهٔ تصاویر ساختمان‌ها معکوس می‌باشد. تا این قسمت روش و فرآیند مطالعات و نتایج به دست آمده از آن مطرح گردید، در ادامه نتایج اختصاصی مرتبط با تاثیر فضای معماری بر شناخت و فعالیت‌های مغزی در جدول زیر به تفکیک دسته‌های مطالعاتی ارائه گردیده است. این نتایج راهبردهایی را جهت تامین سلامت روان انسان در مواجهه با فضای معماری بیان می‌دارد، که خود گامی نوین و بزرگ در جهت رشد رشتهٔ نوین معماری عصب‌محور می‌باشد.

جدول ۶- نتایج نهایی مطالعات تجربی

مولفه معماری	نوسندگان/ سال	نتایج
تجربه انسانی	Bacevice and Duco (2020)	- موقعیت قرارگیری فضاهای خدماتی در کاربری اداری بر پاسخ‌های انسانی تاثیر گذار می‌باشد. - تفاوت موقعیت قرارگیری فضاها، داده‌های بیومتریک متفاوتی را گزارش می‌کند. - نزدیک بودن فضاهای خدماتی در کاربری اداری به محیط کاری باعث افزایش سطح متوسط بتا/گاما و دور بودن فضای خدماتی از محیط کاری باعث افزایش سطح دلتا/تتا می‌گردد.
	Shemesh et al. (2020)	- حرکت در فضا منجر به پاسخ های سریع در قشر کمربندی قدامی می شود که بازخوردی از ویژگی های معماری محیط است. - هندسه‌های منحنی بر فعالیت قشر کمربندی قدامی تاثیر قوی دارند. - قشر cingulate cortex و occipital lobe در ادراک فضا نقش دارند. - فضای متقارن و دارای مقیاس بزرگ، تمرکز بیشتری را ایجاد می‌کند.
	Djebbara et al. (2019)	- شناخت ذاتاً با حرکت بالقوه بدن مرتبط است. - روند حرکت بدن انسان در فضای معماری، درک از فضا را تغییر می‌دهد. - تغییر ادراک در نهایت باعث می‌شود که، فضاها تاثیر فیزیولوژیکی متفاوتی بر کاربران داشته باشند. - تداوم فضایی در طراحی معماری باعث ادراک فضا به دلیل پیوستگی فضایی و جریان حرکت می‌گردد.
	Higuera-Trujillo et al. (2020)	- ترکیبی از منابع رضایت محیطی از لحاظ معماری باعث ایجاد یک اثر هم افزایی قابل اندازه‌گیری در سطوح روانی و فیزیولوژیکی عصبی گردید. - توجه به حواس بویایی و شنوایی در کنار طراحی معماری باعث کاهش قابل توجه استرس شد.
	Vijayan and Embi (2019)	- حضور در محوطه داخلی مسجد (مکان برگزاری نماز) تاثیر مثبتی بر فیزیولوژی شرکت کنندگان و ایجاد آرامش داشته است. - مراحل ورود و خروج از مسجد سطوح هیجان و درگیری بالاتری را نشان داده است.

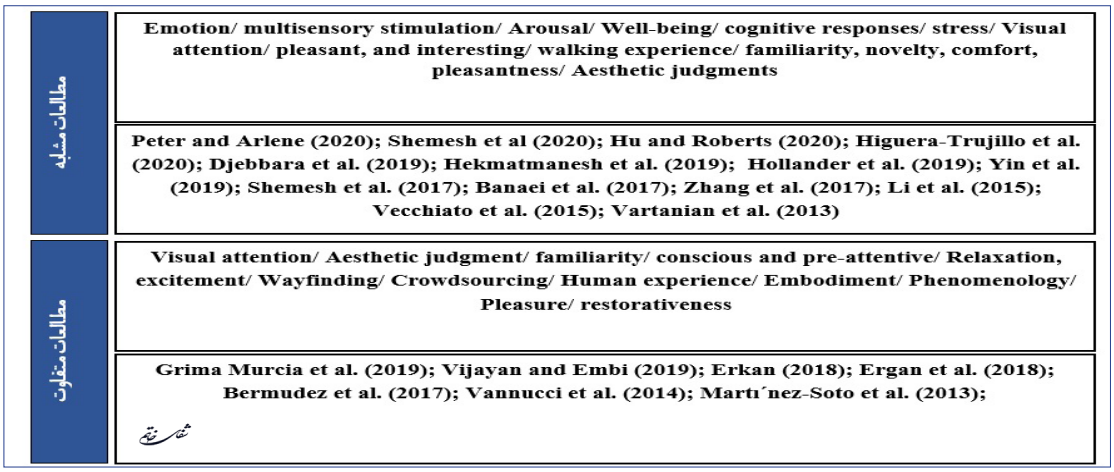
	Ergan et al. (2018)	- واکنش انسان با طراحی معماری تغییر می‌کند. - نور طبیعی روز، فضاهایی با پنجره‌های بزرگ و سقف‌های بلند، فضاهای باز، اشیای متقارن و چیدمان منظم به ترتیب ویژگی‌های تاثیرگذار بر میزان توجه و فیزیولوژیک انسان‌ها می‌باشد و باندهای فرکانسی تتا، آلفا و بتا در این محیط‌ها بالاتر بوده است.
	Bermudez et al. (2017)	- بین معماری معمولی و معماری پیچیده که باعث تفکر می‌شود تفاوت‌هایی وجود دارد. - معماری پیچیده (متفکرانه)، حس توجه، پذیرا و جذب کننده بودن را برانگیخته و باعث کاهش درگیری قشر جلوی مغز شده است و همچنین لوب اکسیپیتال، شکنج پیش مرکزی و لوبول جداری تحتانی را فعال می‌کند.
	Zhang et al. (2017)	- اتاق‌هایی با مصالح چوب تنش و خستگی کمتری نسبت به اتاق‌های با مصالحی غیر از چوب القا می‌کند. - محیط های چوبی برای سیستم عصبی خودمختار، سیستم تنفسی و سیستم بینایی مفید است. - اتاق های چوبی نقش ارزنده ای در تنظیم فیزیولوژیکی و سهولت عملکرد به ویژه پس از یک دوره کاری متوالی دارند.
توجه و تاکید	Hu and Roberts (2020)	ویژگی‌های طراحی معماری، تراکم و ترکیب کاربری زمین به عنوان سه ویژگی برتر و دارای امتیاز بالاتری جهت دستیابی به آرامش بوده‌اند. - محوطه منظم و هندسی، دارای مسیر پیاده‌روی متراکم و محصور و وجود بالکن و تراس و طراحی نمای هماهنگ در طول محوطه جز ویژگی‌های دیگر طراحی معماری، باعث وضعیت هیجانی مثبت در شرکت کنندگان شده است.
	Banaei et al. (2017)	- تاثیر قوی هندسه‌های منحنی بر فعالیت مغز در قشر کمربندی قدامی مشخص گردید. - اتاق‌هایی با درجه‌بندی لذت و برانگیختگی بالاتر (امواج تتا) دارای هندسه‌های منحنی بیشتری بودند. - قشر قشر سینگولیت خلفی و لوب اکسیپیتال در ادراک فضا نقش دارند.
	Shemesh et al. (2017)	- هندسه فضای معماری بر هیجانات انسان تاثیر گذار می‌باشد. میزان انحنای فضا بیشتر از تقارن لذت را برانگیخته می‌کند. - شرکت کنندگان غیر معمار به هندسه فضاهای منحنی شکل تمایل بیشتری داشته و لذت بیشتری ثبت گردید در حالی که معماران فضاهای با زاویه تیز را ترجیح دادند
مسیریابی	Erkan (2018)	- ارتفاع فضای بیشتر بر افراد تاثیر مثبت از منظر شناختی و رفتاری می‌گذارد. - شرکت کنندگان بین ۱۹ تا ۴۰ سال در مسیریابی موفق‌تر از شرکت کنندگان مسن‌تر بودند. - افرادی که سطح تحصیلات پایین‌تری داشتند در یافتن مسیر خود با مشکل بیشتری مواجه بودند.
قضاوت زیبایی‌شناسی	Murcia et al. (2019)	- تفاوت قابل توجهی در پردازش مغز در برابر انواع مختلف معماری به ویژه در مراحل اولیه پردازش وجود دارد. - تصاویر واقعی از فضای خواب ناحیه Brodman 31 مغز را فعال می‌کند و تصاویر تولید شده توسط کامپیوتر بدون جزئیات، به رنگ سیاه و سفید نواحی دیگر مغز را فعال می‌کند که نزدیک به Brodman 18 هستند.
	Vecchiato et al. (2015)	- فضای داخلی دلپذیر، جدید و راحت باعث عدم هماهنگی ریتم مو در نواحی حسی-حرکتی چپ می‌شود. - فضای داخلی دلپذیرتر و کمتر آشنا به نظر می رسد که باعث فعال شدن نواحی پیشانی سمت چپ (باندهای تتا و آلفا)، همراه با درگیری مناطق اختصاص داده شده به مسیریابی فضایی می شود. - افزایش راحتی باعث افزایش فعالیت خط وسط فرونتال تتا می‌شود. - درک محیط‌های دلپذیر شامل مناطقی است که به پردازش بصری- فضایی و جلویی پاریتال اختصاص داده شده است.
	Vartanian et al. (2015)	- اتاق هایی با سقف بلندتر در قضاوت زیبایی شناسی، زیباتر مطرح شدند. - اتاق‌هایی با فضای باز زیباتر ارزیابی شدند و اتاق‌های محصور تصمیم به خروج را القا کرده و قسمت قشر میانی قدامی فعال می‌کند.

	Vannucci et al. (2014)	- تفاوت‌های فرهنگی در ارزشیابی زیبایی شناختی ساختمان‌ها با رتبه بالا و پایین تاثیری نداشته و بر فرآیندهای بصری مرتبط است.
	Vartanian et al. (2013)	- فضاهای منحنی زیباتر از فضاهای مستطیل شکل ارزیابی شدند. - فضاهای منحنی شکل بخش پردازش زیبایی شناختی مغز را فعال می کند. - از نظر نوروآناتومیک، هنگام تفکر زیبایی، کانتور منحنی به طور انحصاری قشر کمربندی قدامی را فعال می‌کند، منطقه‌ای که به شدت به ویژگی‌های پاداش و برجستگی احساسی اشیا پاسخ می‌دهد.
کاهش استرس	Higuera-Trujillo et al. (2020)	- ترکیبی از منابع رضایت محیطی از لحاظ معماری باعث ایجاد یک اثر هم افزایی قابل اندازه‌گیری در سطوح روانی و فیزیولوژیکی عصبی گردید. - توجه به حواس بویایی و شنوایی در کنار طراحی معماری باعث کاهش قابل توجه استرس شد.
	Yin et al. (2019)	- فضای اداری با عناصر بیوفیلیک (پیوند با طبیعت) میزان کمتری از استرس و خلاقیت بالاتری را نشان داده است
	Hekmatmanesh et al. (2019)	- میانگین انرژی باندهای دلتا، تتا و آلفا در جهت‌های بستر شمال-جنوب در مقابل شرق-غرب افزایش می‌یابد. - جهت‌گیری فضای خواب در طراحی اتاق خواب بر رفاه ساکنین تاثیرگذار می‌باشد.
	Martı´nez-Soto et al. (2013)	- مشاهده محیط طبیعی باعث فعال شدن شکنج میانی فرونتال، شکنج گیجگاهی میانی و تحتانی، اینسولا، لوب جداری تحتانی و کونیوس گردید. - مشاهده محیط ساخته شده باعث فعال شدن شکنج فرونتال فوقانی، پرکونوئوس، شکنج پاراهیپوکامپ و سینگولیت خلفی گردید و میزان استرس بالاتری را در مقابل محیط طبیعی القا نمود.

شهر خلاق

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیقات تجربی تاثیر فضای معماری بر مغز را ثابت نموده است، با توجه به پنج زمینهٔ مختلف تحقیقاتی در زمینهٔ پارادایم نوین معماری عصب‌محور، اما نتایج تمامی مطالعات به اهمیت فضای معماری به دلیل تاثیر آن بر مغز تاکید نموده‌اند. از آن‌جایی که انسان زمان طولانی را در فضای معماری سپری می‌کند، امکان دارد این تاثیرات در طولانی مدت باعث آسیب به سلامت روان انسان شود، بنابراین، زمینهٔ مطالعاتی مورد بحث یکی از مهم‌ترین شاخه‌های تحقیقاتی در زمینهٔ سلامت روان در آینده خواهد بود. با بررسی نتایج تحقیقات تئوری و تجربی مشخص می‌گردد که بیشتر مطالعات در این زمینه به صورت تئوری با ۲۹ مقاله، کتاب یا فصلی از کتاب صورت گرفته است و مطالعات تجربی تنها ۲۰ تحقیق را دربر می‌گیرد. مفاهیم ارائه شده در مطالعات تئوری و تجربی متفاوت هستند و برخی از مولفه‌های مورد مطالعه در تحقیقات تئوری هنوز در مطالعات تجربی صورت نپذیرفته است. این موضوع تاکید بر دشواری اندازه‌گیری برخی از مفاهیم به‌عنوان فرضیهٔ آزمایش دارد. با این وجود مطالعات تجربی که با پیشرفت ابزارهای اندازه‌گیری علوم اعصاب رو به رشد هستند، به درک ظریف مطالعات تئوری یا به تصدیق آن‌ها کمک می‌نمایند. به طور کلی خلأ موجود در مطالعات تجربی زمینه را برای محققان جهت تحقیق در این زمینه فراهم می‌آورد. مؤلفه‌های تحقیقات تجربی دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی می‌باشند که در نمودار زیر دسته‌بندی شده‌اند.



نمودار ۶- شباهت‌ها و تفاوت‌ها در مطالعات تجربی

با توجه به این موضوع که مغز انسان دارای پیچیدگی‌هایی است که مطالعهٔ آن را دشوار نموده، اما معماری عصب محور دارای پتانسیل‌های زیادی جهت شناخت مغز انسان می‌باشد (۹۴). این زمینه تحقیقاتی تاکیدی بر بعد سلامت روان انسان داشته است و با توجه به پیشینهٔ مطالعاتی صورت گرفته، در کاربری‌های مختلف فضای معماری صدق می‌کنند (۱۵۹). مانند، بیمارستان‌هایی که از طریق فضای معماری به تسریع بهبود بیمار کمک می‌کنند، کلاس‌هایی که فرآیندهای یادگیری را تسهیل می‌کنند، فضاهایی که همکاری بیشتر کارمندان تشویق را می‌کند، موزه‌هایی که از لحاظ ادراک با آثاری که در آن‌ها به نمایش گذاشته می‌شود دارای ارتباط معنایی هستند، طراحی فضاهایی برای گروهی از بیماران خاص مانند بیماران دارای آلزایمر و همچنین مدیریت فعالیت‌ها در برنامه‌ریزی شهری از جمله پتانسیل‌های معماری عصب‌محور به عنوان پارادایمی نوین جهت ارتقا سلامت محیط و کاربران می‌باشد (۱۶۴-۱۶۰، ۷۹). با وجود تمام پتانسیل‌های نام برده، اما این پارادایم نوین دارای محدودیت‌ها و چالش‌هایی می‌باشد که در ادامه مطرح شده است.

محدودیت‌ها: مطالعات معماری عصب‌محور دارای محدودیت‌هایی در زمینهٔ فرآیند ادراک محیط، پیچیدگی موضوع شناخت و پاسخ به محیط، محدود نبودن معماری به هنر و زیبایی شناسی، تجربه فضا به صورت پیوسته و ابزارهای مطالعه می‌باشد. ۱- فرآیند ادراک از این جهت دارای محدودیت است که، در محرک‌های مورد استفاده[۹۴] در تحقیقات صورت گرفته، عمدتاً تمرکز بر حوزهٔ بصری در فرآیند ادراک بوده است. با وجود این‌که بیشتر اطلاعات کسب شده از محیط توسط حوزه بصری می‌باشد، اما نادیده گرفتن حس‌های دیگر باعث تک بعدی شدن مطالعات می‌گردد (۱۶۷-۱۶۵). معماری تمام شیوه‌های حسی را درگیر می‌کند، بنابراین تصویر برای توصیف آن کافی نیست و دیگر ابعاد انسانی همچون شنوایی ،بویایی و لامسه را در تحقیقات باید در نظر گرفت (۴۹-۴۸). برخی از مطالعات علاوه بر محرک‌های بصری، محرک‌های شنوایی و بویایی را در نظر گرفته‌اند ،اما اکثر تحقیقات تنها محرک‌های بصری را مدنظر قرار داده‌اند. این موضوع جزء محدودیت‌های مطالعه محسوب می‌شود، چون اکثر مطالعات معماری عصب‌محور در فضای شبیه‌سازی شده مورد آزمایش قرار می‌گیرد، امکان شبیه‌سازی محرک‌های دیگر وجود ندارد. یکی از راه حل‌های آن آزمایش در محیط واقعی معماری می‌باشد که خود نیز محدودیت‌هایی جهت تامین فضای مورد نظر محقق را باعث می‌گردد. ۲- محدودیت دیگر، ناشی از پیچیدگی شناخت با تجربیات متفاوت هر فرد و فیزیولوژیک منحصر به فرد وی، مرتبط می‌باشد، که ممکن است در آزمایش‌ها تاثیرگذار باشد و نتایج آزمایش را دچار اشکال کند. علاوه بر این رابطهٔ عصبی[۹۵] یکی از محدودیت‌های این زمینه می‌باشد. از آن‌جایی که یک ناحیهٔ مغز می‌تواند به چندین فرآیند مرتبط باشد خطر ایجاد تحلیل‌های نامعتبر را ایجاد می‌کند و امکان تفسیر نتایج به دلیل روشن نبودن تاثیرات بیرون از آزمایش وجود دارد (۱۶۹-۱۶۸). ۳- از لحاظ روش شناسی، محدودیت‌هایی از لحاظ طیف گستردهٔ محرک‌ها و روش‌های مختلف آثار نمایش وجود دارد. نخستین محدودیت شامل تعارض رویه[۹۶] می‌باشد. از آنجا که فرآیندهای شناختی به طور همزمان اتفاق نمی‌افتد، همین موضوع باعث می‌شود نتایج تصویربرداری‌ها در آزمایشگاه دچار اشکال گردند (۱۷۰). همچنین محدودیت‌های فنی[۹۷] مربوط به ابزارهایی همچون fMRI وجود دارد که فرد باید در طی آزمایش بی‌حرکت باشد. اگرچه با بهره‌گیری از کلاه‌های قابل پوشیدن و EEG می‌توان از افراد در حال حرکت تصویربرداری نمود اما باز هم دارای محدودیت‌هایی برای استفاده می‌باشد. ۴- برخی از مطالعات تنها بر بعد زیبایی‌شناختی معماری توجه نموده‌اند، اما معماری نیازهای گسترده‌ای را برطرف می‌کند و به بعد زیبایی‌شناسی و هنری محدود نمی‌گردد (۱۷۱). اگرچه هنر و زیبایی نقش اساسی در معماری دارد و معماری یکی از هنرهای زیبا است، اما تجربهٔ هنری و زیبایی شناختی تنها یکی از ابعاد شناختی معماری است اما محیط‌های غیر زیبا نیز جز معماری محسوب می‌شود و تاثیرات متفاوتی را بر انسان می‌گذارند در بیشتر مطالعات نادیده گرفت شده است (۱۷۳-۱۷۲). علاوه بر این با وجود این‌که لذت از تجربهٔ زیبایی شناختی یا هنری نشات می‌گیرد، و بعد هنری اصولاً دیدگاهی بر اساس اصول عینی را مطرح می‌کند اما تاثیر تجربه افراد در هنر، بعد زیبایی را به امری ذهنی تبدیل می‌کند، که این شرایط در معماری نیز صدق می‌کند (۱۷۵-۱۷۳). به همین دلیل پیش‌زمینه‌های ذهنی و خارج از مطالعه می‌توانند، باعث القای زیبایی گردد و نتایج را نامعتبر کنند. ۵- مغز قادر است خود را با محیط اطراف وفق دهد به این فرآیند نوروپلاستیسیتی[۹۸] می‌گویند (۱۷۷-۱۷۶). بنابراین تجربهٔ معماری به عوامل زیست‌شناختی و محیطی نیز ارتباط دارد (۱۷۸). اما معماری تجربهٔ پیوستهٔ فضا می‌باشد (۱۷۹). از این رو انتقال از یک فضا به فضای دیگر می‌تواند شرایط فیزیکی ذهن انسان را تغییر دهد، که این تغییر جز محدودیت‌های آزمایش‌های این زمینهٔ مطالعاتی است که محققان قادر به رفع آن نمی‌باشند (۱۸۰). چالش‌ها: یکی از چالش‌های بحث برانگیز این زمینهٔ مطالعاتی، آنالیز داده‌های عصبی- فیزیولوژیکی می‌باشد، علاوه بر

[94] Modality of the Stimuli Used
[95] Neurologyexperience Relationship
[96] Procedural Conflicts
[97] Technical Restrictions
[98] Neuroplasticity

این از آن‌جایی که تجزیه و تحلیل کردن پاسخ‌های انسانی یک موضوع بین رشته‌ای و مبتنی بر روانشناسی، علوم رایانه، علوم اعصاب و مهندسی پزشکی است این چالش را بزرگ‌تر می‌کند (۱۸۲-۱۸۱). با این حال، کاربرد این زمینه در مطالعات اخیر در فضاهای مجازی برای مطالعات معماری نتایج دلگرم کننده‌ای را ایجاد نموده است (۱۸۳). در مطالعات معماری و علوم اعصاب تعریف شاخص‌های نوروفیزیولوژیکی[۹۹] در ارتباط با پاسخ‌های انسانی و بعد شناختی معماری به توسعهٔ یک ابزار طراحی معماری کمک می‌کند که، این زمینه قادر است تاثیر معماری را بر روی کاربران به سادگی تفسیر نماید. اما از آن‌جا که این شاخص‌ها به طور کامل شناسایی نشده‌اند و در جوامع دانشگاهی و حرفه‌ای توسعه نیافته است، یکی دیگر از چالش‌های مطالعات می‌باشد. با وجود محدودیت‌ها و چالش‌ها، مطالعات معماری و علوم اعصاب قادر است فضاهای معماری را با پاسخ‌های انسانی تطبیق دهد به‌عنوان مثال میزان روشنایی را مطابق با شرایط آرامش یا در جهت کاهش استرس محیط تغییر دهد. بنابراین ارتباط میان معماری و علوم اعصاب هم به سوالات تاثیرات محیطی پاسخ می‌دهد و هم قادر است شرایط محیطی را در حالت بهینه طراحی نماید و از آنجا که همهٔ انسان‌ها از لحاظ فیزیکی مغزهای مشابهی دارند (۱۸۴)، این موضوع باعث می‌شود پیوندی میان افراد، جوامع و زمان‌های مختلف برقرار شود (۱۸۵-۱۸۴). بنابراین اگر بتوان به وسیلهٔ مطالعات معماری و علوم اعصاب به نتایجی جهت ارتقاء سلامت روان دست یافت قادر هستیم آن نتایج را به‌عنوان اصول طراحی برای رفع نیازهای روانی تمامی انسان‌ها تعمیم دهیم.

علوم اعصاب به‌عنوان رشته‌ای نوظهور با زمینه‌های مطالعاتی مختلفی از جمله علوم اجتماعی، جرافیایی، محیطی و از جمله معماری پیوند برقرار نموده و باعث ارتقاء مطالعات در این زمینه‌ها شده است. ارتباط میان علوم اعصاب و معماری باعث پیدایش پارادایم نوینی با عنوان معماری عصب‌محور گشته است. این پارادایم نوین با کمک علوم اعصاب شکاف میان معماری و روانشناسی محیط را پر نموده و با بهره‌گیری از ابزارهای نوین علوم اعصاب، تاثیر فضای معماری بر مغز را به کمیت در آورده و باعث شفاف‌سازی چگونگی این تاثیر شده است، که باعث ارتقا فضای معماری در جهت ایجاد سلامت انسان گشته است. علی‌رغم تمامی محدودیت‌ها و چالش‌های مطالعاتی در این زمینه، تحقیقات تجربی چگونگی تاثیر فضای معماری بر عملکرد مغز و شناخت را روشن ساخته‌اند، که با دسته‌بندی مشخص تحقیقات، می‌توان سوالات تحقیق را در مراحل اولیه شناسایی نمود و مسیر تحقیق با توجه به شناخت تحقیقات پیشین شفاف‌تر می‌گردد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که علوم اعصاب به طور فراگیر در زمینهٔ طراحی معماری کاربرد دارد، و از آن‌جایی که در دنیای در حال پیشرفت، معماران نمی‌توانند تنها به ارزیابی‌های شفاهی تکیه کنند، تنها راه عملی برای تعیین اصول طراحی بهینه بهره‌گیری از علوم اعصاب می‌باشد، که با پارادایم نوین معماری عصب‌محور شناخته شده است. با وجود این‌که تحقیقات در این زمینه به دلیل جدید و محدود بودن، نتایج قطعی ایجاد نکرده است و نیاز به آزمایش‌ها و داده‌های بیشتری دارد، اما بینش‌هایی را در رابطه با پاسخ‌های انسانی همراه با عملکردهای شناختی در طول ادراک فضا رائه داده است، که خود گامی بزرگ در جهان علم محسوب می‌شود تا محققان آینده بتوانند به چارچوبی نظام‌مند در این زمینه مطالعاتی دست یابند. پژوهش حاضر، مروری بر منابع موجود در زمینهٔ تاثیر فضای معماری بر شناخت و فعالیت‌های مغزی انسان، با بهره‌گیری از علم اعصاب بود، که با بررسی سیستماتیک ادبیات و مفاهیم در منابع موجود، تاثیراتی که فضای معماری بر مغز انسان می‌گذارد مورد بررسی قرار گرفت، و مشخص گردید که پاسخ‌های آن به صورت‌های مختلف در انسان بروز پیدا می‌کند. این تحقیقات در طی فرآیند تصویربرداری عصبی، همراه با فناوری نوین عینک VR یا محیط فیزیکی واقعی، به‌عنوان یک چارچوب کمی و تکرارپذیر صورت گرفته‌اند. منابع استخراج شده در این مرور، به دو دستهٔ کلی تحقیقات تئوری و تجربی تقسیم‌بندی گردیده است، که مرور حاضر بر تحقیقات تجربی تمرکز داشته است. در نتایج دسته‌بندی تحقیقات تجربی مشخص گردید، که مطالعات تجربی تعداد کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات تجربی نیز در پنج دستهٔ مطالعات در جهت کاهش استرس، قضاوت زیبایی‌شناسی معماری، مسیریابی در فضا، توجه و تاکید بر عناصر بصری و تجربهٔ انسان در فضای معماری قابل تقسیم است و به طور عمومی بر این مطالعات برای رسیدن به سلامت روان انسان گام‌های موثری برداشته‌اند. با این حال تعداد کم مطالعات تجربی بیانگر وجود چالش‌ها و محدودیت‌هایی است که فرآیند پژوهش را برای محققان سخت‌تر نموده است. از سویی دیگر، تعداد کم مطالعات تجربی بیانگر خلاء تحقیقاتی بیشتر بوده و زمینه‌های زیادی را جهت مطالعه محققان آینده ایجاد کرده است. پژوهش حاضر تاکیدی بر اهمیت فضای معماری بر مغز داشته است و دریچه‌ای از این اهمیت را بر روی محققان باز نموده است تا زمینه‌ساز مطالعات آتی گردد.

[۹۹] Neurophysiological

منابع

1.HietanenJK,KorpelaKM.Dobothnegativeandpositive environmental scenes elicit rapid affective processing? Environment and behavior. 2004; 36(4): 558-77.

2. Edelstein, Eve A. Neuroscience & The Architecture of Spiritual Spaces. Report of the workshop held in April, 2004.

3. Malinin LH. Will 'good' Architecture make us more creative? Examining the role of place in creative cognition. In Proceedings of the 2014 ANFA Conference; Albright, T., Cooke, G., Marks, F, Whitelaw, A., Macagno, E., Eds.; The Academy of Neuroscience for Architecture: La Jolla, CA, USA. 2014; 18-19.

4. Mormede P, Courvoisier H, Ramos A, MarissalArvy N, Ousova O, Desautes C, Duclos M. Chaouloff F, Moisan MP. Molecular Genetic Approaches to Investigate Individual Variations in Behavioral and Neuroendocrine Stress Responses, in Psycho Neuroen Docrinology. 2002; 27: 563-83.

5. Higuera-Trujillo JL, Llinares Millan C, Montanana i Avino A, Rojas JC. Multisensory stress reduction: a neuro-architecture study of paediatric waiting rooms. Building Research & Information. 2020; 48(3): 269-85.

6. Homolja M, Maghool SAH, Schnabel MA. The Impact of Moving through the Built Environment on Emotional and Neurophysiological State-A Systematic Literature Review. In Proceedings of the 25th International Conference on Computer- Aided Architectural Design, Bangkok, Thailand, 2020.

7. LeDoux J. Remembrance of emotions past. In The Jossey-Bass Reader on the Brain and Learning, American Psychological Association Washington, DC, USA. 2008; 151-79.

8. Horayangkura V. Incorporating environment-behavior knowledge into the design process: an elusive challenge for architects in the 21st century. Procedia - Soc. Behav. Sci. 2012; 50: 30-41.

9. Lang, JT. Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design. Van Nostrand Reinhold Co. 1987.

10. Rapoport A. Human Aspects of Urban Form: towards a Man-Environment Approach to Urban Form and Design. Pergamon Press. 2016.

11. Edelstein EA, Macagno E. Form follows function: bridging neuroscience and architecture. InSustainable environmental design in architecture. Springer, New York, NY. 2012; 27-41.

12. Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Leder H, Modroño C, Nadal M, Rostrup N, Skov M. Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013; 110: 10446-53.

13. Eberhard J P. Architecture and the brain: a new knowledge base from neuroscience. Greenway Communications. 2007.

14. Robinson S, Pallasmaa J. Mind in Architecture: Neuroscience, Embodiment, and the Future of Design. MIT Press. 2015.

15. Zeisel J. Inquiry by Design: Environment/ Behavior/Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning. 2006.

16. Edelstein E A. Building health. HERD heal Environ. Res.Des. J. 2008; 1:54-9.

17. Nanda U, Pati D, Ghamari H, Bajema R. Lessons from neuroscience: form follows function, emotions follow form. Intelligent Buildings International. 2013; 5(sup1): 61-78.

18. Häfliger IF, John V, Passer A, Lasvaux S, Hoxha E, Saade MR, Habert G. Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. Journal of cleaner production. 2017; 156: 805-16.

19. Ryan RM, Deci EL. On Happiness and Human Potentials: A Review of Research on Hedonic and Eudaimonic Well-Being. Annual Review of Psychology. 2001; 52: 141-66.

20. Ryff CD, Singer BH, Dienberg Love G. Positive Health: Connecting Well-Being with Biology. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences. 2004; 359 (1449): 1383-94.

21. Hillier B, Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1989.

22. Evans G W, McCoy J M. When Buildings Don't Work: The Role of Architecture in Human Health." Journal of Environmental Psychology. 1998; 18 (1): 85-94.

23. Schoenberg PLA, Ruf A, Churchill J, Brown DP, Brewer JA. Mapping ComplexMind States: EEG Neural Substrates of Meditative Unified Compassionate Awareness.ConsciousnessandCognition.2018;57:41-53.

24. Eberhard J P. Brain Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture. Oxford University Press. 2009.

25. Kluetsch RC, Ros T, Théberge J, Frewen PA,

Calhoun VD, Schmahl C, Lanius RA. Plastic Modulation of PTSD Resting- State Networks and Subjective Wellbeing by EEG Neurofeedback. Acta Psychiatrica Scandinavica. 2014; 130 (2): 123-36.

26. Urry HL, Nitschke JB, Dolski I, Jackson DC, Dalton KM, Mueller CJ, Rosenkranz MA, Ryff CD, Singer BH, Davidson RJ. Making a life worth living: Neural correlates of well-being. Psychological science. 2004; 15(6): 367-72.

27. Gegenfurtner A E M, Kok K, Van Geel A B H. de Bruin, and B. Sorger. Neural Correlates of Visual Perceptual Expertise: Evidence from Cognitive Neuroscience Using Functional Neuroimaging. Frontline Learning Research. 2017; 5 (3): 14-30.

28. Biren A. Spatial manifestations of the Human Psyche: Architecture based on neurological theories of aesthetic experience & environmental preference. InProceedings of the 2014 ANFA Conference; Albright, T., Cooke, G., Marks, F., Whitelaw, A., Macagno, E., Eds 2014; 20-1.

29. Neutra R. Survival though Design (New York: Oxford University Press. 1954.

30. Higgins J PT, Green S. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration. 2011.

31. Bonshek A J. Mirror of Consciousness: Art, Creativity, and Veda. Delhi, India: Motilal Banarsidass Publishers. 2001.

32. Jakupi AB. Landscape Architecture as Environmental Harmony. New Arch-International Journal of Contemporary Architecture. 2016; 3 (3): 43-50.

33. Fergusson L, Wells G, Kettle D. The Personal, Social and Environmental Sustainability of Jainism in Light of Maharishi Vedic Science. Environment, Development and Sustainability. 2018; 1-23.

34. Travis F, Bonshek A, Butler V, Rainforth M. Can a Building's Orientation Affect the Quality of Life of the People Within? Testing Principles of Maharishi Sthapatya Veda. Journal of Social Behavior and Personality. 2005; 17(1): 553.

35. Osmond H. Function as the Basis of Psychiatric Ward Design. Psychiatric Services. 1957; 8 (4): 23-7.

36. Barker R G, Gump P V. Big School, Small School: High School Size and Student Behavior. Redwood City, California, USA: Stanford University Press. 1964.

37. Bell P A. Environmental Psychology. San Diego, California, USA: Harcourt College Publishers. 2001.

38. Mallgrave HF. The Architect's Brain: Neuroscience, Creativity, and Architecture, John Wiley & Sons, London, UK. 2010.

39. Angelidakis A. Cognitive architecture: From bio-politics to noo-politics; Architecture & mind in the age of communication and information. 010 Publishers; 2010.

40. Sussman A, Hollander JB. Cognitive architecture: Designing for how we respond to the built environment. Routledge; 2021.

41. Ruiz-Arellano M. Hawaiian Healing Center: A Weaving of Neuro-Architecture and Cultural Practices. 2015.

42. Eberhard JP, Gage FH. An Architect and a Neuroscientist Discuss How Neuroscience Can Influence Architectural Design. Neuroscience Quarterly. 2003(9):6-7.

43. ANFA. History of ANFA. 2003. Accessed 7/2018.

44. Thagard P. Cognitive Science. Stanford library. sydney.edu.au. 1996.

45. Powell JA. Is architectural design a trivial pursuit? Des. Stud. 1987; 8: 187-206.

46. Höge H. Fechner's experimental aesthetics and the golden section hypothesis today. Empirical Studies of the Arts. 1995; 13(2): 131-48.

47. Franz G, von der Heyde M, Bülthoff H H. An empirical approach to the experience of architectural space in virtual reality-exploring relations between features and affective appraisals of rectangular indoor spaces. Autom. Constr.2005; 14: 165-72.

48. Mehta BK. Smell and the architectural experience. In Proceedings of the 2014 ANFA Conference; Albright T, Cooke G, Marks F, Whitelaw A, Macagno E., Eds. The Academy of Neuroscience for Architecture, La Jolla, CA, USA. 2014; 68.

49. Dzebic V, Perdue JS, Ellard CG. The influence of visual perception on responses towards real-world environments and application towards design. Intelligent Buildings International. 2013; 5(sup1):29-47.

50. Banaei M, Hatami J, Yazdanfar A, Gramann K. Walking through architectural spaces: the impact of interior forms on human brain dynamics. Frontiers in human neuroscience. 2017; 11: 477.

51. Cavalcante A, Mansouri A, Kacha L, Barros AK, Takeuchi Y, Matsumoto N, Ohnishi N. Measuring streetscape complexity based

on the statistics of local contrast and spatial frequency. PloS one. 2014; 9(2): e87097.

52. Kacha L, Matsumoto N, Mansouri A, Cavalcante A. Predicting perceived complexity using local xontrast statistics and fractal information. Courr. Savoir. 2013; 16: 89-97.

53. Husserl E. Ideas: General Introduction to Pure Phenomenology; Routledge Classics: London, UK. 2012.

54. Husserl E. Ideen su einer Reinen Phänomenologie und Phänomenologischen Philosophie [Ideas Relativas a una Fenomenología pura y una Filosofía Fenomenológica]; Fondo de Cultura Económica: Querétaro. Mexico. 1913.

55. Heidegger M. Pathmarks, Cambridge University Press, 1998.

56. Lewin K. Der Richtungsbegriff in der Psychologie: Der spezielle und allgemeine hodologische Raum. Psychol. Forsch. 1934; 19: 249-65.

57. Sartre JP. L'Être et le Néant; Encyclopaedia Universalies: Paris, France. 2016.

58. Bachelard G, Champourcin E. La poética del espacio. México: Fondo de cultura económica; 1965.

59. Rasmussen SE. La Experiencia De La Arquitectura: Sobre La Percepción De Nuestro Entorno; Reverté: Barcelona, Spain. 2004.

60. Lynch K. La Imagen de la Ciudad; Gustavo Gili: Barcelona, Spain. 2008.

61. Pallasmaa J. The geometry of feeling: A look at the phenomenology of architecture. In Theorizing a new agenda for architecture, An anthology of architectural theory. 1996; 447-53.

62. Pallasmaa J. From metaphorical to ecological functionalism. In Functionalism-Utopia or the Way Forward?.1992; 8-19. Alvar Aalto Symposium.

63. Gross R. Psychology: The science of mind and behaviour 7th edition. Hodder Education; 2015.

64. Bones M, Secchiaroli G. Environmental Psychology: A Psycho-Social Introduction; Sage: London, UK. 1995.

65. Kruse L, Graumann C. (1987). Environmental psychology in Germany. In Handbook of Environmental Psychology; Bechtel, R.B., Churchman, A., Eds.; Wiley & Sons: New York, NY, USA. 1987; 1195-226.

66. Burke E. A Philosophical Inquiry into the Origin of Our Ideas of the Sublime and Beautiful; Simon & Brown: Pall-Mall, UK. 1909.

67. Kant I. Crítica de la Razón Pura; Tecnos: Madrid, Spain. 2004.

68. Zeising A. Neue lehre von den proportionen des menschlichen körpers: aus einem bisher unerkannt gebliebenen, die ganze natur und kunst durchdringenden morphologischen grundgesetze entwickelt. R. Weigel. 1854.

69. Vischer FT. Kritische Gänge: Kritik Meiner Aesthetik; Cotta: Stuttgart, Germany. 1866.

70. Ash M G. Gestalt Psychology in German Culture, 1890-1967: Holism and the Quest for Objectivity; Cambridge University Press: Cambridge, UK. 1998.

71. Sheynin O. Fechner as a statistician. Br. J. Math. Stat. Psychol. 2004; 57: 53-72.

72. Osgood CE, Suci GJ, Tannenbaum PH. The Measurement of Meaning; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA.1957.

73. Küller R. A Semantic Model for Describing Perceived Environment; National Swedish Institute for Building Research: Stockholm, Sweden,1972. ISBN 91-540-2079-4.

74. Küller R. Environmental assessment from a neuropsychological perspective. In Environment Cognition and Action: An Integrated Approach; Garling, T., Evans, G.W., Eds.; Oxford University Press: New York, NY, USA. 1991; 111-47.

75. Russell JA, Mehrabian A. Evidence for a three-factor theory of emotions. J. Res. Pers. 1977; 11: 273-94.

76. Eberhard JP. Applying neuroscience to architecture. Neuron. 2009; 62(6):753-6.

77. Edelstein E. The Routledge Companion for Architecture Design and Practice, the Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends. Routledge. 2015a.

78. Arbib MA. Complex imitation and the language-ready brain. Language and Cognition. 2013; 5(2-3):273-312.

79. Sternberg EM. Healing Spaces; Harvard University Press: London, UK. 2010.

80. Papale P, Chiesi L, Rampinini AC, Pietrini P, Ricciardi E. When neuroscience 'touches' architecture: From hapticity to a supramodal functioning of the human brain. Frontiers in psychology. 2016; 7: 866.

81. Edelstein E. Neuroscience and architecture. In: The Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends, 2015b; 269-89.

82. Sternberg EM, Wilson MA. Neuroscience and architecture: Seeking common ground. Cell. 2006; 127(2): 239-42.

83. Bluyssen P M. Towards New Methods and Ways to Create Healthy and Comfortable Buildings. Building and Environment. 2010; 45 (4): 808-18.

84. Pykett J. Brain Culture: Shaping Policy ThroughNeuroscience. Bristol, UK: Policy Press. 2015.

85. Abdullah A, Khan IH, Basuhail A, Hussain A. A Novel Near-Infrared Spectroscopy Based Spatiotemporal Cognition Study of the Human Brain Using Clustering. Cognitive Computation. 2015; 7(6):693-705.

86. Alarcão S M, Fonseca M J. Emotions Recognition Using EEG Signals: A Survey. IEEE Transactions on Affective Computing. 2019; 10 (3): 374-93.

87. Bullmore E, Sporns O. Complex Brain Networks: Graph Theoretical Analysis of Structural and Functional Systems. Nature Reviews Neuroscience. 2009; 10(3): 186.

88. Hasani J. The Assessment of Psychometric Properties of the Persian Version of Hemispheric Preference Test. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2016; 5(1): 1-9.

89. Telesford QK, Simpson SL, Burdette JH, Hayasaka S, Laurienti PJ. The brain as a complex system: using network science as a tool for understanding the brain. Brain connectivity. 2011; 1(4): 295-308.

90. Gottfried J A. Neurobiology of Sensation and Reward. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2011.

91. Andreassi J L. Psychophysiology: human behavior and physiological response (4th ed.). J. Psychophysiol. 2001; 40 (1): 89-91.

92. Bonner AM. The use of neurodiagnostic technologies in the 21st century neuroscientific revolution. Neurodiagn J. 2015; 55(1): 46-53.

93. Carlson N R. Physiology of Behavior, Physiology of Behavior. 2012.

94. Bayan L, Alipour F, Kolivand PH, Sadat Dastgheib S. Neuromarketing: The Cognitive Approaches to Consumer Behavior. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2014; 2(4): 46-59.

95. Pallasmaa J, Mallgrave HF, Arbib M. Architecture & Neuroscience. Tapio Wirkkala Rut Bryk Foundation, Finland. 2013.

96. Møller AR. Sensory Systems: Anatomy and Physiology. Academic Press. 2003.

97. Bar M, Neta M. Visual elements of subjective preference modulate amygdala activation. Neuropsychologia. 2007; 45(10):2191-200.

98. Ghoshal T, Boatwright P, Malika M. The Psychology of Design. Abingdon: Routledge. 2016.

99. Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Gonzalez-Mora JL, Leder H, Modroño C, Nadal M, Rostrup N, Skov M. Architectural design and the brain: effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. Journal of environmental psychology. 2015; 41: 10-8.

100. Choo H, Nasar J L, Nikrahei B, Walther D B. Neural codesofseeingarchitecturalstyles. Sci. Rep. 2017; 7:40201.

101. Nasr S, Echavarria CE, Tootell RB. Thinking outside the box: rectilinear shapes selectively activate scene-selective cortex. Journal of Neuroscience. 2014; 34(20): 6721-35.

102. Welchman AE, Deubelius A, Conrad V, Bülthoff HH, Kourtzi Z. 3D shape perception from combined depth cues in human visual cortex. Nature neuroscience. 2005; 8(6): 820-7.

103. Downs RM, Stea D, editors. Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior. Transaction Publishers; 2017.

104. Nold C. Emotional cartography: technologies of the self. Softhook. 2009.

105. Chen Z, Schulz S, He X, Chen Y. A Pilot Experiment on Affective Multiple Biosensory mapping for possible application to visual resource analysis and smart urban landscape design. InREAL CORP 2016-SMART ME UP! How to become and how to stay a Smart City, and does this improve quality of life? Proceedings of 21st International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society. CORP-Competence Center of Urban and Regional Planning. 2016; 29-37.

106. McNair M, Heuchert P, Shilony E. Profile of mood states Bibliography 1964-2002. Multi- Health- System Inc. 2003.

107. Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. Development

and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. Journal of Personality and Social Psychology. 1998; 54(6): 1063-70.

108. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience: Exploring the brain: Fourth edition. Wolters Kluwer. 2016.

109. Kubben PL. Brain mapping: from neural basis of cognition to surgical applications. Surgical Neurology International. 2012; 3.

110. Jalali Kondori B, Rahimian E, Asadi MH, Tahsini MR. Magnetic Resonance Tractography and its Clinical Applications. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2014; 2(4): 71-8.

111. Seyed Abbas SM, Zakariaee SS, Rahimiforoushani A. Es timation of Hemodynamic Response Function in the Brain and Brain Tumors: Comparison of Inverse Logis tic and Canonical Hemodynamic Response Function Models. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2018; 6(3): 1-9.

112. Nidal K, Malik AS. EEG/ERP Analysis: Methods and Applications. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. 2014.

113. Danesh Sani K, Safania AM, Poursoltani H. Identification and Prioritization of Factors Affecting Neuromarketing in Sport Based on Analytical Hierarchy Process (AHP). The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2017; 5(3): 35-43.

114. Zillmer EA, Spiers MV. Principles of neuropsychology. Wadsworth/Thomson Learning. 2001.

115. Genco S J, Pohlmann A P, Steidl P. Neuromarketing for dummies. 1st ed. John Wiley and Sons Canada Ltd 2013; 249-68.

116. El-Nasr MS, Morie JF, Drachen A. A scientific look at the design of aesthetically and emotionally engaging interactive entertainment experiences. In Affective computing and interaction: Psychological, cognitive and neuroscientific perspectives. IGI Global. 2011; 281-307.

117. Calvert GA, Thensen T. Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. J Physiol Paris. 2004; 98:191-205.

118. Touhami ZO, Benlafkih L, Jiddane M, Cherrah Y, El-Malki HO, Benomar A. Neuromarketing: Where marketing and neuroscience meet. African Journal of Business Management. 2011; 5(5): 1528-32.

119. Azzazy S, Ghaffarianhoseini AH, Ghaffarian Hoseini A, Naismith N, Doborjeh Z. A critical review on the impact of built environment on users' measured brain activity, Architectural Science Review. 2020; 1-17.

120. Karakas T, Yildiz D. Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review. Frontiers of Architectural Research. 2020; 9(1): 236-47.

121. De Paiva A, Jedon R. Short-and long-term effects of architecture on the brain: Toward theoretical formalization. Frontiers of Architectural Research. 2019; 8(4):564-71.

122. Franz J. Towards a spatiality of wellbeing. In School Spaces for Student Wellbeing and Learning. Springer, Singapore. 2019; 3-19.

123. Uttley J, Simpson J, Qasem H. Eye-tracking in the real world: Insights about the urban environment. In Handbook of Research on Perception-Driven Approaches to Urban Assessment and Design. IGI Global. 2018. 368-96.

124. De Paiva A. Neuroscience for architecture: how building design can influence behaviors and performance. Journal of Civil Engineering and Architecture. 2018; 12(2):132-38.

125. Tvedebrink TD, Jelic A. Getting under the (ir) skin: Applying personas and scenarios with body-environment research for improved understanding of users' perspective in architectural design. Persona Studies. 2018; 4(2): 5-24.

126. Ibrahimi N, Ruci G. Human brain and real estate: analyzing the relationship between qualitative space and price. Int. J. Real Estate. 2018; 1: 86-95.

127. Kambli N, Godin I, Kabzamalova E. Wellness by design: thoughts on reshaping Brussels' public realm. J. urban Des. Ment. Heal. 2018; 5-13.

128. Anna OG. Contemplative Landscapes: Toward Healthier Built Environments. Environment and Social Psychology. 2018; 4(2).

129. Rahimi FB, Levy RM, Boyd JE, Dadkhahfard S. Human behaviour and cognition of spatial experience; a model for enhancing the quality of spatial experiences in the built environment. Int. J. Ind. Ergon. 2018; 68: 245-255.

130. Mo¨ystad O. Cognition and the built environment. In: Routledge Research in Planning and Urban Design. Routledge. 2017.

131. Erkan I. Effects on the design of transport systems of pedestrian dynamics. Higway Engineering. 2017:17-33.

132. McIntosh AR, Jadavji NM. Application of Neuroscience Principles for Evidence- Based Design in Architectural Education. J. Young Invest. 2017; 33 (4).

133. Devlin A S, Andrade CC. Quality of the Hospital Experience: Impact of

experiences through electroencephalography brainwave signals in neuroarchitecture study. International Journal of Built Environment and Sustainability. 2019; 6(3): 11-20.

150. Yin J, Arfaei N, MacNaughton P, Catalano PJ, Allen JG, Spengler JD. Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality. Indoor Air. 2019; 29(6):1028-39.

151. Erkan İ. Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG). Architectural Science Review. 2018; 61(6):410-28.

152. Ergan S, Shi Z, Yu X. Towards quantifying human experience in the built environment: A Crowdsourcing based experiment to identify influential architectural design features. Journal of Building Engineering. 2018; 20, 51-9.

153. Shemesh A, Talmon R, Karp O, Amir I, Bar M, Grobman YJ. Affective response to architecture-investigating human reaction to spaces with different geometry. Architectural Science Review. 2017; 60(2): 116-25.

154. Bermudez J, Krizaj D, Lipschitz DL, Bueler CE, Rogowska J, Yurgelun-Todd D, Nakamura Y. Externally-induced meditative states: an exploratory fMRI study of architects' responses to contemplative architecture. Frontiers of architectural research. 2017; 6(2):123-36.

155. Zhang X, Lian Z, Wu Y. Human physiological responses to wooden indoor environment. Physiology & behavior. 2017; 174: 27-34.

156. Vecchiato G, Jelic A, Tieri G, Maglione AG, De Matteis F, Babiloni F. Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments. Cognitive processing. 2015; 16(1): 425-9.

157. Vannucci M, Gori S, Kojima H. The spatial frequencies influence the aesthetic judgment of buildings transculturally. Cognitive neuroscience. 2014; 5(3-4): 143-9.

158. Martı'nez-Soto J, Gonzales-Santos L, Pasaye E, Barrios FA. Exploration of neural correlates of restorative environment exposure through functional magnetic resonance. Intell. Build. Int. 2013; 5: 10-28.

159. Eberhard JP. Sustainability and neuroscience. In Sustainable Environmental Design in Architecture. Springer, New York, NY. 2012.
160. Turk MR, Amr A, Al Rawi O. A school designed to improve student's brain activity using integrated neuro-architectural design aspects (qeeg-vr). In Proceedings of the 2018 ANFA Conference; The Academy of Neuroscience for Architecture: La Jolla, CA, USA. 2018; 146-7.

161. Goldstein R N. Architectural design and the collaborative research environment. Cell. 2006; 127:243-6.

162. Babiloni F, Cherubino P, Graziani I, Trettel A, Bagordo G, Cundari C, Borghini G, Aricö P, Maglione AG, Vecchiato G. The great beauty: A neuroaesthetic study by neuroelectric imaging during the observation of the real Michelangelo's Moses sculpture. In 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2014; 6965-8. IEEE.

163. Barrett P, Sharma M, Zeisel J. Optimal spaces for those living with dementia: Principles and evidence. Building Research & Information. 2019; 47(6):734-46.

164. Hollander J, Foster V. Brain responses to architecture and planning: A preliminary neuro-assessment of the pedestrian experience in Boston, Massachusetts. Architectural Science Review. 2016; 59(6): 474-81.

165. Bruce V, Green P R, Georgeson M A. Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology; Psychology Press: New York, NY, USA. 2003.

166. Bourdieu P. Social space and symbolic power. Sociological theory. 1989; 7(1):14-25.

167. Ebrahem S. Exploring the phenomenological perception of the architectural spatial experience. SHARED BEHAVIORAL OUTCOMES. 2018.

168. Poldrack RA. Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data? Trends Cogn. Sci. 2006; 10: 59-63.

169. Cela-Conde CJ, Agnati L, Huston JP, Mora F, Nadal M. The neural foundations of aesthetic appreciation. Progress in neurobiology. 2011; 94(1):39-48.

170. Winkielman P, Cacioppo JT. Mind at ease puts a smile on the face: psychophysiological evidence that processing facilitation elicits positive affect. Journal of personality and social psychology. 2001; 81(6): 989.

171. Andreasen ME. Make a safe environment by design. Journal of gerontological nursing. 1985; 11(6):18-22.

172. Jacobsen T, Buchta K, Kohler M, Schroger E. The primacy of beauty in judging the aesthetics of objects. Psychol. Rep. 2004; 94, 1253-60.

173. Scharf B, Carterette E, Friedman M P. Handbook of perception. Academic Press: New York, NY, USA, 1987; 111-31.

174. Clay F. The origin of the aesthetic emotion. Sammelbände Int. Musik. 1908; 9: 282-90.

175. Zumthor P, Madrigal P, Binet H. Pensar la arquitectura. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. 2004.

176. Rakic P. Neurogenesis in adult primate neocortex: An evaluation of the evidence. Nat. Rev. Neurosci. 2002; 3: 65-71.

177. Livingston RB. Brain mechanisms in conditioning and learning. Neurosci. Res. Program Bull. 1966; 4: 349-54.

178. Kozbelt A. Tensions in naturalistic, evolutionary explanations of aesthetic reception and production. New Ideas Psychol. 2017; 47: 113-20.

179. Holl S. Fenomenología de la arquitectura, cuestiones de percepción. Gustavo Gili: Barcelona, Spain, ISBN 9788425224058. 2011.

180. Djebbara Z. Incentive architecture: Neural correlates of spatial affordances during transition in architectural settings. SHARED BEHAVIORAL OUTCOMES. 2018.

181. Kriegeskorte N, Simmons WK, Bellgowan, PS, Baker CI. Circular analysis in systems neuroscience: The dangers of double dipping. Nat. Neurosci. 2009; 12: 535-40.

182. Picard RW. Affective Computing; MIT Press: Cambridge, MA, USA. 2000.

183. Marín-Morales J, Higuera-Trujillo JL, Greco A, Guixeres J, Llinares C, Gentili C, Scilingo EP, Alcañiz M, Valenza G. Real vs. immersive-virtual emotional experience: Analysis of psycho-physiological patterns in a free exploration of an art museum. PloS one. 2019; 14(10): e0223881.

184. Swaab D. Somos Nuestro Cerebro; Plataforma: Barcelona, Spain. 2014.

185. Ackerman D. Una Historia Natural de los Sentidos. Anagrama. Barcelona. Spain. 1992.