



The effect of an urban element (bridge) on function of citizens' brain

Ali Azizi Naserabad^{1*} , Abasali Shahroudi²

1. MA of Architectural Technology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2. Assistant Professor of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Received: 29 Apr. 2019

Revised: 11 Dec. 2019

Accepted: 21 Dec. 2019

Keywords

Bridge
Urban element
Brain
Neuroscience
Cognitive science

Corresponding author

Ali Azizi Naserabad, MA of Architectural Technology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Email: Ali1990_5@yahoo.com



doi.org/10.30699/icss.22.2.82

Abstract

Introduction: The development and progress of cities and the expansion of urban buildings and elements can affect the citizens' perceptual. Due to their giant appearance, urban bridges have different effects on users who use these bridges every day and see them. This paper aimed to propose a method with the cognitive science approach that can identify the effect of bridges' appearance on citizens and specify the most appropriate bridge due to different effects on users' mind and perceptions.

Methods: In this study, the effect of different bridge images has been examined on the brain waves of 12 student by recording brain signals using an EEG device in vitro, and the data recorded have been evaluated by the brainwaves analysis software (brainstorm) and Excel software.

Results: Findings revealed that the physical properties of the bridges have affected the brain waves of the users, and by viewing the images of the bridges different signals have been recorded based on the subjective perceptions that users had of the different images. Also, examining significant statistical differences between the recorded data of the users' brain waves specified the images with a significant difference ($P < 0.05$) than other images. Accordingly, the bridge images with tensile structural systems have had more impact on the users' brain waves than other images, and the bridge with a cable-stayed structural system with a single pylon on one side has had the most impact.

Conclusion: The different urban elements and buildings (Including bridges) can affect user's brain waves and their perception of urban spaces. Therefore, accurate scientific methods should be used to find the desired effects on the citizens' minds and the factors causing these effects to impact the design of different urban spaces. Using neuroscience approaches can be very helpful for this.

Citation: Azizi Naserabad A, Shahroudi A. The effect of an urban element (bridge) on function of citizens' brain. *Advances in Cognitive Sciences*. 2020;22(2):82-101.



بررسی تأثیر یک عنصر شهری (پل) بر عملکرد مغز شهروندان

علی عزیزی ناصرآباد^{۱*} (id)، عباسعلی شاهرودی^۲

۱. کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
 ۲. استادیار معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

مقدمه: توسعه شهرها، گسترش ساختمان‌ها و عناصر شهری بر ادراک شهروندان از فضاهای شهری تأثیر گذارند. پل‌های شهری نیز با توجه به ظاهر عظیم‌الجثه، تأثیرات مختلفی بر روی کاربران‌شان دارند. این مطالعه با رویکردی علوم شناختی سعی دارد نحوه تأثیر پل‌ها بر امواج مغزی کاربران را شناسایی و مناسب‌ترین پل با توجه به تأثیر متفاوتی که بر ذهن و ادراک کاربران دارد، مشخص نماید.

روش کار: در این مطالعه تأثیر تصاویر پل‌های مختلف با انجام آزمایش از طریق ثبت سیگنال‌های مغزی ۱۲ نفر از دانشجویان توسط دستگاه EEG و تحلیل داده‌های ثبت شده توسط نرم‌افزارهای Excel, Brainstorm و افزونه‌های مختلف انجام گرفت.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی پل‌ها موجب تأثیرگذاری بر امواج مغزی کاربران شده‌اند و با مشاهده تصاویر پل‌ها، با توجه به برداشت‌های ذهنی کاربران، سیگنال‌های متفاوتی از آنها به ثبت رسیده است. همچنین پس از بررسی داده‌های ثبت شده از امواج مغزی کاربران، تصویری که تفاوت معنادار نسبت به سایر تصاویر داشتند مشخص گردیدند ($P < 0.05$). بر این مبنای پل‌ها با سیستم‌های سازه‌ای کششی، تفاوت معنادار و تأثیرگذاری بیشتری بر مغز کاربران داشته‌اند. همچنین پل با سیستم سازه‌ای متکی بر کابل با تک دکل در یک سمت، بیشترین اثرگذاری را بر مغز کاربران داشته است. **نتیجه‌گیری:** ساختمان‌های شهری (از جمله پل‌ها) بر امواج مغزی و ادراک کاربران از فضاهای شهری تأثیرگذارند. بنابراین باید با روش‌های علمی دقیق نسبت به یافتن تأثیرات مطلوب بر ذهن شهروندان و عوامل ایجادکننده این تأثیرات و اثر دادن آنها در طراحی‌های شهری اقدام گردد. استفاده از رویکردهای علوم اعصاب برای این مهم می‌تواند بسیار کمک کننده باشد.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

اصلاح نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

واژه‌های کلیدی

پل
 عنصر شهری
 مغز
 علوم اعصاب
 علوم شناختی

نویسنده مسئول

علی عزیزی ناصرآباد، کارشناسی ارشد
 تکنولوژی معماری، دانشگاه مازندران،
 بابلسر، ایران

ایمیل: Ali1990_5@yahoo.com



doi.org/10.30699/icss.22.2.82

مقدمه

گذاشته و موجب ادراک و برداشت‌های مناسب‌تر شهروندان از آن فضاها شوند، سرزندگی و نشاط آن فضاها بیشتر و تبدیل به مکان‌های با هویت می‌شوند.

انسان دارای دو ساحت عاطفی و عقلانی است. سیما و عناصر شهری نیز باید نیازهای ساحت‌های متفاوت حیات انسان را به طور توأمان

شهر مجموعه‌ای از عناصر، ساختمان‌ها و محیط‌های ساخته شده توسط انسان است و با حضور انسان در این فضاهاست که معنی و مفهوم پیدا می‌کند. حضور مردم در فضاهای شهری موجب ایجاد محیط‌های زنده، افزایش حیات اجتماعی و احساس تعلق ساکنان نسبت به آن فضاها می‌شود. هرچه این فضاها بتوانند تأثیرات مطلوبی بر روی شهروندان

رشته جدید و مشترک بین شاخه‌های گوناگون علم به نام علوم شناختی است. علوم شناختی یک شاخه بین رشته‌ای است که با ۵ رشته دیگر شامل: روان‌شناسی، زبان‌شناسی، علوم رایانه، فلسفه و علوم اعصاب در ارتباط است. علوم اعصاب به ویژه شاخه‌ای از آن به نام علوم اعصاب شناختی، ابزارهای الکتروفیزیولوژیک و روش‌های تصویربرداری مغز را برای درک نحوه پردازش دانش، بینش و تجربه در ذهن/مغز و مسیرهای عصبی دخیل در آنها به کار گرفته است (۶). علوم اعصاب به بررسی نحوه عملکرد مغز در ارتباط با وقایع و پدیده‌های مختلف می‌پردازد. استفاده از علوم اعصاب در معماری دانش نوینی است که در حال گسترش می‌باشد. رویکرد علوم اعصاب در معماری زمینه‌ای است که به تأثیر فضاهای ساخته شده بر مغز می‌پردازد و برای این امر فرهنگ و نیازهای استفاده‌کنندگان از این فضاها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد (۷). توجه به این رویکرد در معماری باعث فاصله گرفتن از مفاهیم سنتی ارتباط فضا و کاربر و ایجاد مفاهیمی جدید در معماری شده است (۸). یافته‌ها نشان می‌دهد که تجربیات کاربران در فضاهای معماری و برداشت‌های ذهنی آنها از این فضاها با دانش علوم اعصاب در زمینه ادراک و جهت‌گیری فضایی مرتبط و هماهنگ است (۹). تغییرات در محیط باعث تغییر در برداشت‌ها و عملیات ذهنی می‌شود و این خود باعث تغییر رفتار می‌گردد، بنابراین طراحی معماری و ساخت آثار معماری می‌تواند عملیات ذهنی و رفتار انسان را تغییر دهد (۱۰). با ادغام علوم اعصاب و معماری راهی برای مطالعات متنوع در زمینه معماری باز می‌شود که امکان ساختن ساختمان‌هایی را فراهم می‌کند که به تحریک بینایی کمک می‌کنند و به تبع آن، پتانسیل چند حسی معماری را بهبود می‌بخشند (۱۱). در زمینه معماری و علوم اعصاب پژوهش‌هایی صورت گرفته است که در ذیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند: پژوهش صورت گرفته توسط Aoun با عنوان: طراحی عاطفی در معماری، به بررسی ارتباط معماری و علوم اعصاب می‌پردازد و دلیل این ارتباط را درگیر شدن دائمی مغز و ذهن با محیط‌ها و فضاهای محل زندگی انسان عنوان می‌کند. همچنین در این پژوهش با استفاده از هدست عصبی قابل حمل (Portable EEG neuro-headset) سعی شده است تأثیر محیط بر احساسات کاربران اندازه‌گیری شود و در طراحی عناصر معماری مورد استفاده قرار گیرد (۱۲) در پژوهشی دیگر با عنوان: فرهنگ، علوم اعصاب و معماری که توسط Augustin صورت گرفته است، با این سؤال مهم که آیا تفاوت فرهنگی بر نحوه پردازش اطلاعات و ادراک در محیط‌های مختلف اثر می‌گذارد، شروع می‌شود و با بررسی پژوهش‌های مختلف در این زمینه، عنوان می‌کند که عملکرد عصبی تحت تأثیر فرهنگ در قشر بصری و مناطق مرتبط با پردازش ادراکی صورت می‌گیرد (۱۳). در

مد نظر قرار دهند (۱). نیازهای روحی و روانی و میل به زیبایی در انسان دسته‌ای از نیازهای او را تشکیل می‌دهند که در قرن حاضر و با توجه به برآورده شدن نیازهای اولیه انسان بیش از پیش از اهمیت بالایی برخوردار شده‌اند. زیبایی از چشمان بیننده سرچشمه می‌گیرد، مفهوم زیبایی‌شناسی در طراحی به طور کلی از دو جنبه عینی و ذهنی قابل بررسی است از یک طرف کالبد طرح مطرح است و از طرف دیگر ذهنیت شهروندان. زیبایی‌شناسی بر اساس چهار رویکرد عمده که شامل: کالبدی، روان‌شناسانه، کارشناسانه و مردم‌محور مورد بررسی قرار می‌گیرند. رویکرد مردم‌محور و روان‌شناسانه به لحاظ ماهیتی همانند هم هستند و می‌توان آنها را در درک دیدگاه مردم نسبت به مسائل زیبایی‌شناختی به کار برد، و از نتایج آن در در تصمیم‌گیری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و طراحی شهری کمک گرفت (۲).

انسان موجودی احساسی است و آثار معماری می‌توانند از طرق مختلف احساسات او را مخاطب قرار دهند افراد می‌توانند تحت تأثیر فرم جدید ساختمان یا یک سازه تندیس‌گونه شهری قرار گیرند و در تمام این مواجهات احساسات با درک و ترجیحات افراد در ارتباط است. مطالعات نشان می‌دهد که افراد مختلف پاسخ‌ها و احساسات مختلفی در مقابل طرح یک فضا یا یک عنصر شهری از خود نشان می‌دهند. جهت طراحی یک اثر معماری طراح می‌بایست زمان، مکان، نحوه و چگونگی تحریک احساسات مختلف را شناسایی نماید. معماری جدا از نقش عملکردی آن، معنایی در درون خود نهفته دارد که توسط ناظر یا کاربر اثر معماری ادراک می‌شود. این بعد ادراکی از معماری نه تنها پیچیده و غیر آشکار، بلکه تنیده شده در مناسبات و فرهنگ هر قوم و ملت است و متأثر از عوامل متعدد اجتماعی و فردی است و معماری با گام نهادن در بعد ادراک است که معنی می‌یابد (۳).

طراحان نباید نیازهای واقعی استفاده‌کنندگان را قربانی خواسته‌های زیبایی‌شناسی و انتزاعی خویش سازند، بلکه باید به شناسایی نیازهای مردم پرداخته و آنها را در طراحی خود تأثیر دهند (۴)، از جمله این نیازها، نیازهای روانی و احساسی افراد است. اگر در طراحی خواسته‌ها و تمایلات مردم در نظر گرفته شود محیط ساخته شده حاصل از آن قابلیت تأمین تعامل اجتماعی را خواهد داشت (۵). اما چگونه می‌توان نیازهای انسان، نحوه تفکر و پردازش اطلاعات ذهن کاربران را در مواجهه با آثار معماری بررسی نمود و در طراحی آثار معماری اثر داد؟ چگونه می‌توان برداشت‌های کیفی کاربران آثار معماری را به صورت اطلاعات کمی در اختیار معماران قرار داد تا به وسیله آنها بتوانند آثار معماری را مطابق با تفکرات، نظرات و احساسات کاربران طراحی نمایند؟

یکی از مهمترین پیشرفت‌های اندیشه در دهه‌های اخیر تولید یک

پژوهش صورت گرفته توسط Young-Ah Rho و همکاران با عنوان: اندازه‌گیری تاثیر تغییر موقعیت یک میز در یک اتاق بر توجه و خلاقیت با استفاده از ثبت پاسخ‌های عصبی و رفتاری، میزان توجه و خلاقیت ۴۰ نفر شرکت‌کننده در موقعیت‌های مختلف استفاده از میز مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از ثبت سیگنال‌های مغزی با استفاده از دستگاه EEG قابل حمل استفاده شد و مشخص گردید که موقعیت میز در یک اتاق بر توجه و خلاقیت تأثیر می‌گذارد و سیگنال‌های ثبت شده بسته به موقعیت قرارگیری میز متفاوت است (۱۴). در پژوهشی دیگر از Young-Ah Rho و همکاران با عنوان: تاثیر حواس‌پرتی ناشی از موقعیت میز در یک دفتر کار مشترک بر انجام کارهایی که نیاز به توجه دارند را بررسی کردند، به شرکت‌کنندگان گفته شده که دو فعالیت شناختی که نیاز به توجه دارند را انجام دهند در حالی که فرد دیگری در موقعیت‌های متفاوتی نسبت به میز مورد نظر کارهای مختلف اداری را انجام می‌داد. در حین انجام فعالیت شناختی با استفاده از دستگاه EEG قابل حمل سیگنال‌های مغزی آنها ثبت می‌شد. مشخص گردید که موقعیت میز همکاران به طور قابل توجهی عملکرد شناختی شرکت‌کنندگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد همچنین مشخص گردید سیگنال‌های ثبت شده بسته به موقعیت قرارگیری میز همکاران متفاوت است (۱۵). در پژوهش Choo و همکاران با عنوان: کدهای عصبی در حین مشاهده آثار و سبک‌های معماری، مشخص شده است که در هنگام مشاهده آثار معماری در منطقه v1 قشر بینایی مغز فعالیت زیادی اتفاق نمی‌افتد و بیشتر فعالیت‌های عصبی مرتبط با سبک‌های معماری در نواحی سطح بالای قشر بینایی مغز انجام می‌گیرد. همچنین مشخص شد که قشر بینایی مربوط به تشخیص چهره نیز در هنگام مشاهده سبک‌های معماری فعال می‌شود (۱۶). در پژوهش صورت گرفته توسط بنایی و همکاران تاثیر فرم فضاهای داخلی ساختمان بر عملکرد مغز انسان بررسی شد، برای این منظور پس از مدل‌سازی ۳ بعدی فرم‌های مختلف، تاثیر آنها را به وسیله دستگاه EEG بر آزمودنی‌ها مورد مطالعه قرار داده است که مشخص شد فرم‌های منحنی تاثیر زیادی بر Anterior Cingulate Cortex مغز دارند (۱۷). در پژوهشی دیگر از بنایی و همکاران با عنوان: ارتقا کیفیت طراحی مسیرهای شهری با استفاده از دستگاه الکتروانسفالوگرافی، دو مسیر پیاده‌رو با عملکردهای مختلف در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش سعی شد مشخص شود که هنگام پیاده‌روی در مسیرهای شهری، کدام قسمت مسیر بیشترین تاثیر را بر عملکرد شناختی کاربران دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که سه دقیقه اول قدم زدن بیشترین تأثیرات شناختی را بر روی کاربران دارد (۱۸). در پژوهش Shan و Yang با عنوان:

تشخیص و طبقه‌بندی الگوهای EEG در شرایط آسایش حرارتی، بر اساس تعریف آسایش حرارتی (آسایش حرارتی یک حالت ذهنی است که رضایت از محیط حرارتی را نشان می‌دهد) و با استفاده از همدست EEG ۱۴ کاناله، سیگنال‌های مغزی افراد در شرایط حرارتی مختلف و شرایط آسایش حرارتی در فضاهای معماری به منظور تحلیل، دسته‌بندی و مقایسه، ثبت گردید (۱۹). در پژوهش صورت گرفته توسط Essawy و همکاران با عنوان: ساختمان‌های مقدس و عملکرد مغز (تأثیر مسجد سلطان حسن خان بر امواج مغزی کاربران)، تاثیر ساختمان مسجد بر عملکرد مغز انسان بررسی شد. در این پژوهش با اندازه‌گیری نحوه تغییر و شدت امواج مغزی کاربران در طول حضور آنها در فضای مسجد، حس معنویت در آنها مورد بررسی قرار گرفته است (۲۰). در پژوهش صورت گرفته دیگر توسط Essawy و همکاران با عنوان: ساختمان‌های بی‌زمان و عملکرد مغز انسان (تأثیر فضاهای معنوی بر امواج مغزی انسان) که بر مبنای پژوهش قبل صورت گرفته بود، با اندازه‌گیری امواج مغزی کاربران در فضاهای معنوی بیان می‌کنند که حضور کاربران در فضاهای داخلی این ساختمان‌ها باعث تغییر فرکانس امواج مغزی آنها می‌شود (۲۱). از دیگر پژوهش‌هایی که در زمینه علوم اعصاب و معماری صورت گرفته است می‌توان به پژوهشی با موضوع طراحی معماری و مغز که توسط Vartanian و همکاران صورت گرفته است اشاره کرد که سعی می‌کند با استفاده از تصویربرداری کارکردی از مغز کاربران تأثیر ارتفاع فضای داخلی ساختمان و باز و بسته بودن پلان فضاها را بر روی آنان مورد ارزیابی قرار دهد (۲۲). پژوهشی نیز با موضوع؛ مطالعه زیبایی‌شناسی عصبی به وسیله تصویربرداری کارکردی مغز کاربران در طول مشاهده مجسمه موسی ساخته میکلائل آنژ توسط Babiloni و همکاران صورت گرفته است. در این پژوهش، فعالیت مغزی، ضربان قلب و پاسخ گالوانیک پوست کاربران به طور همزمان در هنگام مشاهده مجسمه در ساختمان کلیسا برای ارزیابی تعامل عاطفی کاربران جمع‌آوری شد. مجسمه از ۳ نقطه و ۳ زاویه دید متفاوت توسط کاربران مشاهده گردید که در هر نقطه جزئیات متفاوتی از مجسمه برای کاربران نمایان می‌شد. نتایج نشان داد که فعالیت مغزی کاربران به طور قابل توجهی در ۳ مکان مورد نظر متفاوت است. بنابراین درک مجسمه توسط کاربران بستگی به موقعیتی دارد که در آن قرار دارند و زوایای دید مختلف پاسخ‌های عاطفی و مغزی متفاوتی را ایجاد می‌نمایند (۲۳). همچنین در پژوهشی با موضوع؛ بررسی ارتباط فیزیولوژی عصبی با تجسم و عوامل انگیزشی در طول درک محیط‌های بصری معماری که توسط Giovanni Vecchiato و همکاران انجام گرفت، سیگنال‌های مغزی ۱۲ نفر از کاربران در حین مشاهده و درک فضای داخلی ۳ بعدی که شبیه‌سازی شده بود ثبت شد.

روش کار

در قرن حاضر در شهرهای مختلف دنیا که امکان ساخت پل وجود دارد، پل های غول پیکری با روش ها مختلفی ساخته شده اند که تبدیل به یک عنصر شاخص شهری و در برخی از شهرها تبدیل به نماد آن شهر گردیده اند و توانسته اند سیمای ظاهر یک شهر را تحت تأثیر قرار دهند. با بررسی پل های متعدد از منابع مختلف و فضای مجازی، معروف ترین پل های ساخته شده در دنیا جمع آوری و بر اساس ویژگی های فیزیکی در جدول ۱ با هم مقایسه شدند.









ویژگی های تعریف شده عبارت بودند از: قوس خریا، قوس با مقطع جعبه، قوس بتنی، کابل منحنی، دکل میانی، دکل مایل، دکل تک عنصر، دکل چند عنصر، آویز کشش، کابل مهاری، آرایش منظم کابل ها، عنصر فشاری، عرشه جعبه، عرشه خریا، عنصر الحاقی و غیره. بر اساس این ویژگی ها جدولی از صفر و یک برای پل ها تهیه شد به گونه ای که داشتن هر ویژگی فیزیکی در هر یک از پل ها با عدد ۱ و نداشتن آن ویژگی با عدد صفر مشخص گردیده است. با توجه به این که پل ها بر اساس ویژگی های فیزیکی زیادی امتیازبندی شده اند که امکان بیان همه آنها در جدول نمی باشد، علامت «...» در میانه سطر اول جدول ۱ نشان دهنده سایر ویژگی هایی است که در این جدول آورده نشده اند ولی در بررسی پل ها مورد بررسی قرار گرفته اند.



پس از بررسی نتایج به دست آمده چنین نتیجه گیری شد که تجربه مردم از محیط های معماری ذاتاً به تصور آنها از فعالیتی که می توانند در آن فضا انجام دهند بستگی دارد (۲۴).

پژوهش حاضر رویکردی آزمایشگاهی دارد و در آن سعی شده است تا با استفاده از دانش علوم اعصاب تأثیرات نمونه های مختلف یک عنصر شهری (پل) بر روی فعالیت های الکتریکی مغز ۱۲ نفر از دانشجویان از طریق ثبت سیگنال های مغز توسط دستگاه EEG بررسی شود. تحلیل و ارزیابی داده های ثبت شده توسط نرم افزارهای Excel, Brainstorm و افزونه های مختلف انجام گرفت. به این منظور پس از شناسایی پل های مختلف و امتیازبندی آنها بر اساس ویژگی های فیزیکی، پل ها به گروه های مختلف دسته بندی شدند، سپس متناسب با ویژگی های ظاهری هر گروه پلی مدل سازی شد و در قالب تصاویر با پس زمینه یکسان در نرم افزار سایکوپای (Psychopy) جهت انجام آزمایش قرار داده شدند تا در هنگام انجام آزمایش، کاربران رشته ای از تصاویر پل ها را مشاهده نمایند و همزمان امواج مغزی آنها ثبت گردد. پس از ثبت، امواج مغزی کاربران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا تصاویری که نسبت به سایر تصاویر تأثیرگذاری بیشتری بر امواج مغزی کاربران داشته اند مشخص شوند و سپس بتوان ویژگی هایی از پل ها که بر عملکرد مغز کاربران تأثیر بیشتری دارند را شناسایی نمود.

جدول ۱. بررسی مشخصات فیزیکی پل ها

ویژگی													پل
جمع	عنصر الحاقی	عرشه خریا	عرشه جعبه	عنصر فشاری	آرایش منظم کابل ها	کابل مهاری	...	دکل میانی	کابل منحنی	قوس بتنی	قوس با مقطع جعبه	قوس خریا	
۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	...	۰	۰	۰	۰	۱	 <p>1-Bayonne Bridge Location: New York, USA</p>
۴	۱	۰	۱	۰	۰	۰	...	۰	۰	۰	۰	۱	 <p>2-Sydney Harbour Bridge Location: Sydney, Australia</p>
۶	۰	۱	۰	۰	۱	۰	...	۱	۱	۰	۰	۰	 <p>3-George Washingto Bridge Location: New Jersey, USA</p>

ویژگی	قوس	قوس با مقطع جعبه	قوس بتنی	کابل منحنی	دکل میانی	...	کابل مهارى	آرایش منظم کابل‌ها	عنصر فشاری	عرشه جعبه	عرشه خرپا	عنصر الحاقی	جمع
پل													
 4-Golden Gate Bridge Location: San Francisco, USA	۰	۰	۰	۱	۱	...	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۶
 5-Europa Bridge Location: Stubaital, Austria	۰	۰	۰	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲
 6-Verrazzano-Narrows Bridge Location: New York, USA	۰	۰	۰	۱	۱	...	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۶
 7-Bridge of the Americas Location: Balboa, Panama	۱	۰	۰	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۵
 8-25de Abril Bridge Location: Lisbon, Portugal	۰	۰	۰	۱	۱	...	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۶
 9-Nový most Bridge Location: Bratislava, Slovakia	۰	۰	۰	۰	۰	...	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۵
 10-Köhlbrand Bridge Location: Hamburg, Germany	۰	۰	۰	۰	۱	...	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۶
 11-Alamillo Bridge Location: Seville, Spain	۰	۰	۰	۰	۰	...	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۵

ویژگی	پل	قوس	قوس با مقطع جعبه	قوس بتنی	کابل منحنی	کابل میان	دکل ...	کابل مهاری	آرایش منظم کابل ها	عنصر فشاری	عرشه جعبه	عرشه خرپا	عنصر الحاقی	جمع
	12-Normandie Bridge Location: Honfleur, France	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵
	13-Trinity Bridge Location: London, England	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵
	14-Akashi-Kaikyo Bridge Location: Awaji Island, Japan	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۶
	15-Tatara Bridge Location: Hiroshima, Japan	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵
	16-Juscelino Kubitschek Bridge Location: Brasilia, Brazil	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۶
	17-Millau Bridge Location: Creissels, France	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵
	18-Dagu Bridge Location: Tianjin, China	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵
	19-Rion-Antirion Bridge Location: Gefira Charilaos Trikoupi, Greece	.	.	.	.	.	...	.	.	.	.	.	.	۵

ویژگی	قوس خریا	قوس با مقطع جعبه	قوس بتنی	کابل منحنی	کابل دکل میانی	...	کابل مهاری	آرایش منظم کابل‌ها	عنصر فشاری	عرشه جعبه	عرشه خریا	عنصر الحاقی	جمع
پل													
 20-Zubizuri Bridge Location: Bilbao, Spain	۰	۱	۰	۰	۰	...	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۵
 21-Maria Pia Bridge Location: Porto, Portugal	۱	۰	۰	۰	۰	...	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۳
 22-Luis I Bridge Location: Porto, Portugal	۱	۰	۰	۰	۰	...	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۴
 23-Veresk Bridge Location: Savadkuh, Iran	۰	۰	۱	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۳
 24-Salginatobel Bridge Location: Schiers, Switzerland	۰	۰	۱	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۳
 25-Van Stadens Bridge Location: Port Elizabeth, South Africa	۰	۰	۱	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۳
 26-Aarburg Bridge Location: Argovia, Switzerland	۰	۰	۱	۰	۰	...	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲
 27-Ushibuka Haiya Bridge Location: Ushibukamachi, Japan	۰	۰	۰	۰	۰	...	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲

پس از جمع آوری و امتیازدهی پل های مختلف (جدول ۱)، پل هایی که دارای امتیاز یکسان و همچنین ویژگی های فیزیکی مشابه بودند در یک دسته و گروه قرار گرفتند. برای مثال پل های شماره ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۴ که به نام پل های کابلی معلق شناخته می شوند دارای ویژگی های فیزیکی

و ظاهری یکسان از جمله کابل منحنی، دکل میانی چند عنصری، آویزهای کششی با آرایش منظم و عرشه خرپایی می باشند و در یک گروه قرار گرفتند. پل های دیگر نیز به همین شکل گروه بندی شدند (جدول ۲).









جدول ۲. گروه بندی پل ها بر اساس سیستم سازه ای

شماره گروه	شماره پل ها
۱	۲۰-۱۸-۱۶
۲	۷-۲-۱
۳	۲۷-۵
۴	۱۳-۱۱-۹
۵	۱۹-۱۷-۱۵-۱۲-۱۰
۶	۲۲-۲۱
۷	۲۶-۲۵-۲۴-۲۳
۸	۱۴-۸-۶-۴-۳

پس از گروه بندی و دسته بندی، پل ها متناسب با ویژگی هر یک از گروه ها تصاویری با زاویه دید یکسان مدل سازی شدند و برای انجام پژوهش، در قالب تصاویری نزدیک به شرایط واقعی پل ها ارائه شدند.

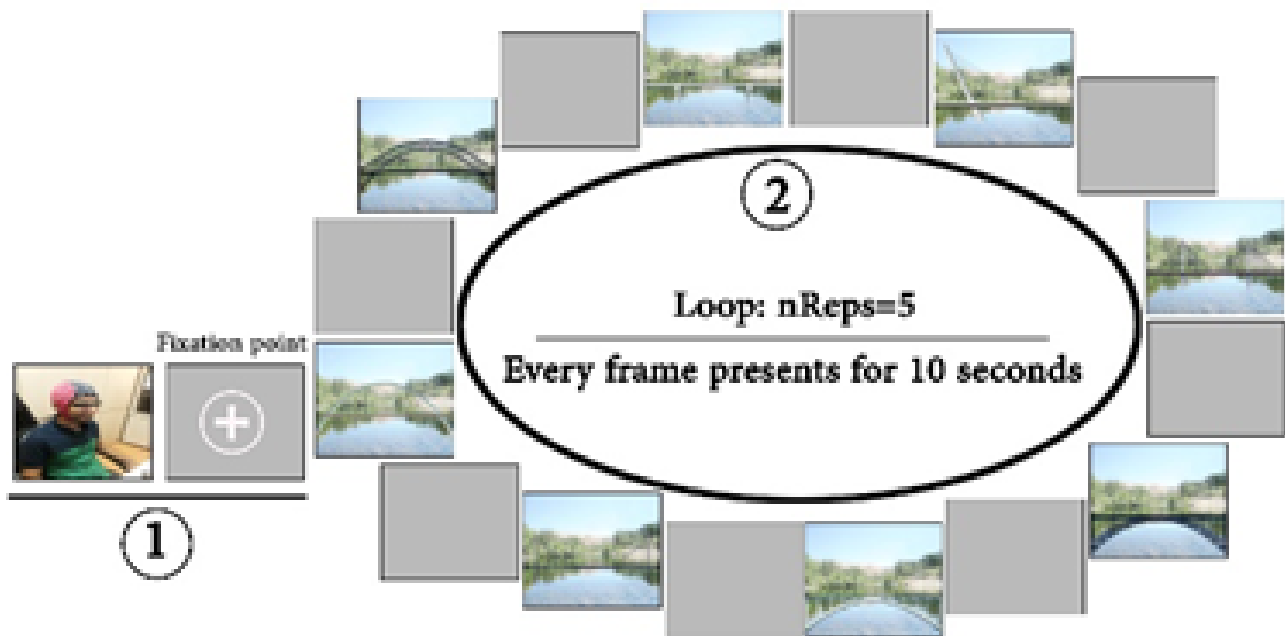
جدول ۳، تصاویر نهایی برای گروه های هشت گانه را نمایش می دهد که به وسیله نرم افزار فتوشاپ و استفاده از تصاویر جمع آوری شده از اینترنت، مدل سازی شده اند.

جدول ۳. انواع پل های مدل سازی شده برای انجام پژوهش

شماره تصاویر	تصاویر مدل سازی شده	شماره تصاویر	تصاویر مدل سازی شده
۱		۵	
۲		۶	
۳		۷	
۴		۸	

شرح چگونگی توالی تصاویر پل‌ها در نرم‌افزار سایکوپای مطابق با شکل ۱ می‌باشد، به این صورت که پس از اجرای نرم‌افزار یک نماد صلیب مانند (Fixation point) در مرکز نمایش‌گر در صفحه‌ای به رنگ خاکستری ظاهر می‌گردد تا چشم کاربران به مرکز نمایش‌گر ثابت شود، سپس نمایش تصاویر آغاز می‌شود به این صورت که تصویر شماره ۱ ده ثانیه به نمایش گذاشته می‌شود، بعد فضای خاکستری به مدت ۱۰ ثانیه، سپس تصویر شماره ۲ و به همین صورت تا تصویر شماره ۸ به نمایش گذاشته می‌شوند. این توالی از نمایش تصاویر پل‌ها ۵ بار تکرار شد تا از سیگنال‌های ثبت شده برای هر تصویر میانگین‌گیری شود، این کار دقت تحلیل و محاسبات روی سیگنال‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین در نرم‌افزار سایکوپای امکانی در نظر گرفته شد تا از کاربران در حین مشاهده تصاویر پاسخ رفتاری دریافت گردد، به این صورت که در هنگام مشاهده هر تصویر در صورت خوشایند بودن تصویر کاربر با فشردن عدد ۴ بر روی صفحه کلید و در صورت ناخوشایند بودن تصویر با فشردن عدد ۶ عکس‌العمل نشان می‌داد و در صورت داشتن احساس بینابینی بین خوشایند بودن و نبودن تصویر، هیچ پاسخی ارائه نمی‌داد (با توجه به ۵ بار تکرار نمایش تصاویر، آخرین پاسخ رفتاری کاربران از نرم‌افزار خروجی گرفته شد).

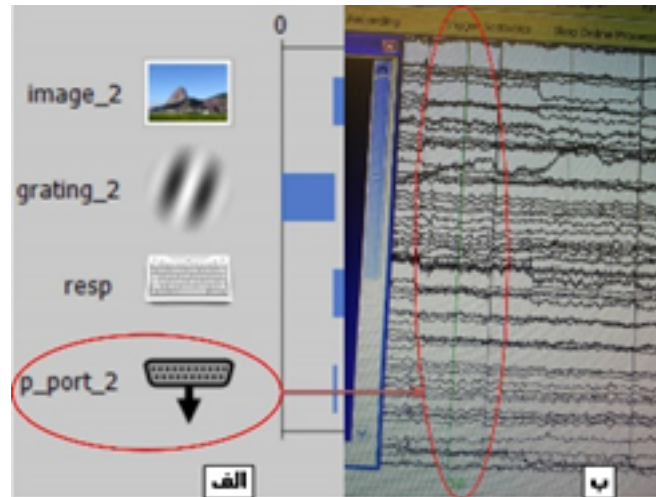
برای انجام آزمایش و ثبت امواج الکتریکی از مغز کاربران، تصاویر نهایی که برای انجام آزمایش انتخاب شدند. همان‌گونه که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود تصاویر باید دارای نما و زاویه دید و همچنین پس‌زمینه یکسانی باشند، تا تنها عناصر متغیر در تصاویر، عناصر مربوط به پل‌ها باشد در چنین حالتی عمده تأثیرات ایجاد شده بر روی سیگنال‌های مغز کاربران مربوط به عناصر و ویژگی‌های متغیر پل‌ها است. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، برای انجام آزمایش، تصاویر در نرم‌افزار سایکوپای وارد شدند. سایکوپای یک نرم‌افزار نوشته شده در پایتون است که برای ایجاد محرک‌های بصری در رایانه‌های استاندارد، توسط پژوهشگران حوزه علوم اعصاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار طوری طراحی شده است که آزمایشات متنوع در زمینه علوم اعصاب را می‌توان بوسیله آن انجام داد. از قابلیت‌های دیگر این نرم‌افزار برقراری ارتباط با طیف گسترده‌ای از سخت‌افزارهایی مانند EEG، MEG، fMRI و... می‌باشد (۲۵). در پژوهش حاضر نیز پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، تصاویر پل‌ها وارد نرم‌افزار سایکوپای شد تا در هنگام ثبت سیگنال‌های مغزی کاربران، رشته‌ای از تصاویر پل‌ها در نرم‌افزار سایکوپای توسط کاربران مشاهده گردد.



شکل ۱. نحوه نمایش تصاویر پل‌ها در نرم‌افزار سایکوپای

نرم‌افزار سایکوپای انجام می‌گیرد. به این صورت که یک پورت موازی قبل از هر تصویر در نرم‌افزار قرار داده می‌شود تا با شروع نمایش هر تصویر یک خط سبز (Trigger) در صفحه ثبت سیگنال‌ها ظاهر گردد (شکل ۲).

همان‌گونه که گفته شد نرم‌افزار سایکوپای با تجهیزات و سخت‌افزارهای آزمایشگاهی مختلف ارتباط برقرار می‌کند. دلیل برقرار شدن این ارتباط مشخص شدن زمان ثبت سیگنال‌ها در زمان نمایش هر تصویر می‌باشد. این ارتباط به وسیله یک پورت موازی (Parallel port) در



شکل ۲. ارتباط نرم افزار سایکوپای با دستگاه EEG به وسیله پورت موازی در نرم افزار سایکوپای (الف)، و نمایش Trigger در صفحه ثبت امواج مغزی (ب).

یافته ها

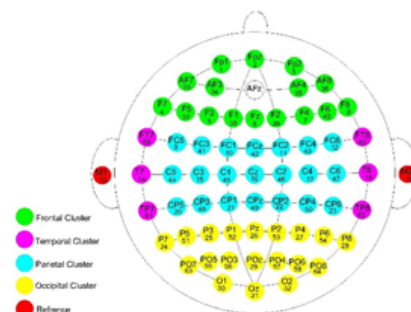
بعد از آماده سازی نمونه ها و وارد کردن آنها در نرم افزار سایکوپای، به وسیله دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۶۴ کاناله (ANT EEG/ERP) با قابلیت نقشه برداری از فعالیت مغز (الکتروانسفالوگرافی کمی QEEG) امواج مغزی کاربران در حین مشاهده تصاویر نمونه ها و اجرای نرم افزار سایکوپای ثبت گردید. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش ساخت کمپانی A.N.T هلند بود.

بعد از ثبت امواج مغزی کاربران، داده های ثبت شده وارد نرم افزار تحلیل امواج مغزی Brain storm شدند. با توجه به این که امواج مغزی مربوط به هر کاربر شامل تمام امواج ثبت شده برای کاربر در طول انجام آزمایش بود، لذا برای مشخص نمودن امواج ثبت شده مربوط به هر تصویر از Trigger ثبت شده در مرحله آزمایش استفاده گردید. چون در مرحله انجام آزمایش و ثبت امواج مغزی کاربران، نمایش هر تصویر ۵ بار تکرار شده است، Trigger مربوط به آن تصویر نیز ۵ بار تکرار شده است. همچنین امواج مغزی ثبت شده از لحظه ثبت Trigger تا ۱۰ ثانیه بعد از آن (مدت زمان نمایش تصویر) مربوط به تصویری است که Trigger مورد نظر برای آن ثبت شده است. با استفاده از نرم افزار تحلیل امواج مغزی، سیگنال های مغزی کاربران در حین مشاهده تصاویر جداسازی

و میانگین گرفته شد سپس برای هر تصویر نیز از سیگنال های مغزی همه کاربران میانگین گرفته شد.

مغز انسان دارای نواحی مختلفی می باشد این نواحی شامل، لوب پیشانی، لوب گیجگاهی، لوب آهیانه، لوب پس سری می باشند. در مرحله انجام آزمایش و ثبت امواج مغزی کاربران، الکترودهای ثبت کننده امواج مغزی روی نواحی مختلف مغز قرار گرفته و امواج مغزی کاربران را ثبت نمودند. با توجه به این که هر کدام از قسمت های مختلف مغز فعالیت مربوط به خود را انجام می دهد، بنابراین باید امواج ثبت شده برای هر کدام از نواحی جداسازی شوند و سپس تحلیل های مختلف روی آنها صورت گیرد.

شکل ۳، الکترودهای ثبت امواج مغزی برای هر کدام از نواحی مختلف مغز را نشان می دهد که به رنگ های مختلف از یکدیگر تفکیک شده اند. این شکل همچنین موقعیت هر یک از الکترودها و محل استقرار آنها بر روی سر کاربران در مرحله انجام آزمایش را نمایش می دهد. الکترودهایی که در نواحی مختلف سر کاربر قرار می گیرند امواج مغزی آنها را در فرکانس های مختلف به ثبت می رسانند. معمولاً امواج مغزی در فرکانس های مختلفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند که شامل، دلتا (۱ تا ۴ هرتز)، تتا (۴ تا ۷ هرتز)، آلفا (۸ تا ۱۲ هرتز)، بتا (۱۲ تا ۳۰ هرتز) و گاما (۳۰ تا ۴۵ هرتز) می باشند.



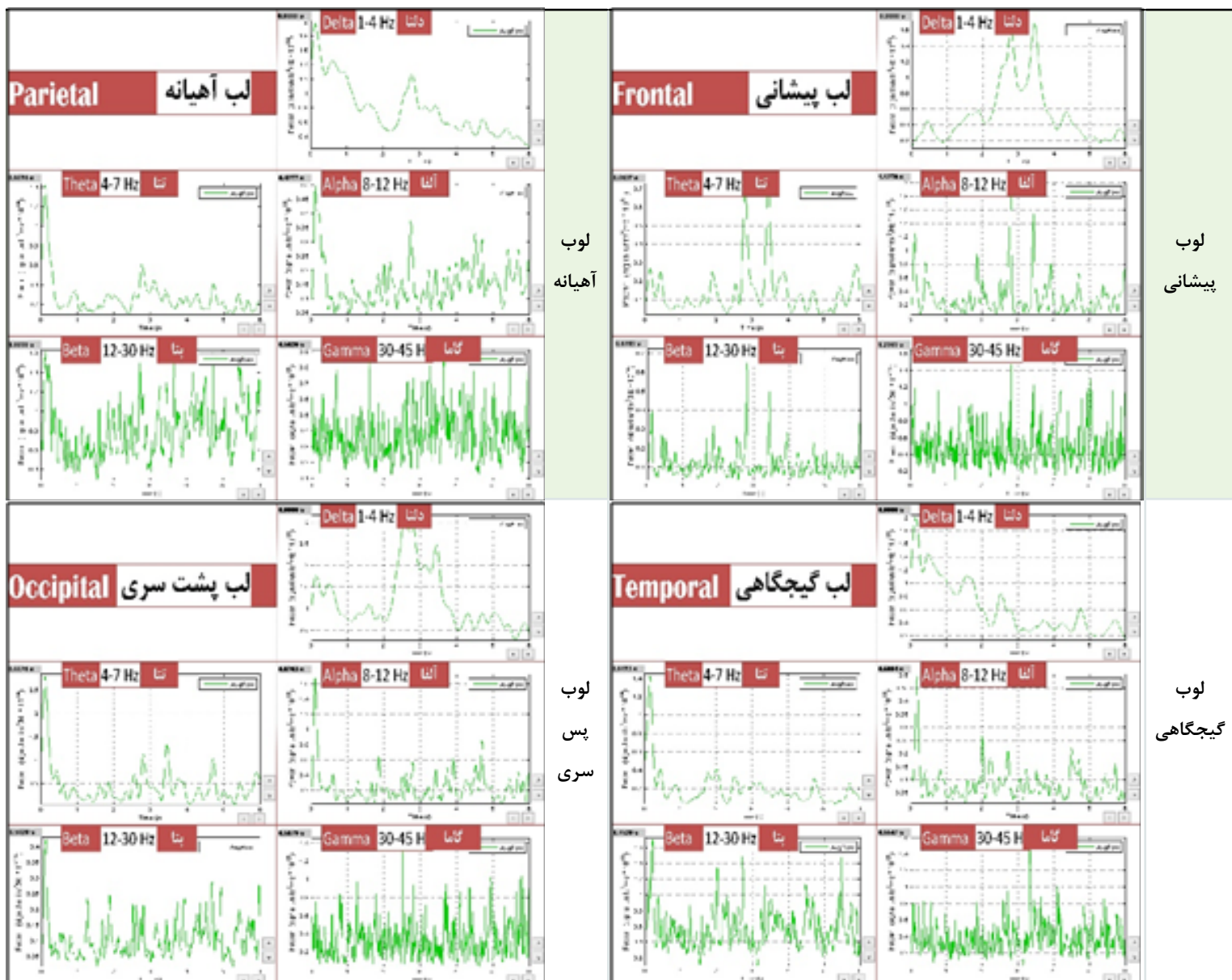
شکل ۳. موقعیت الکترودهای ثبت کننده امواج مغزی

استخراج گردید و سرانجام با یکدیگر مقایسه شدند. جدول ۴ میانگین توان سیگنال‌ها را برای تصویر شماره یک در نواحی مختلف مغز نشان می‌دهد که برای هر ناحیه مغز، میانگین امواج در فرکانس‌های مختلف نمایش داده شده است. همین روند نیز برای همه تصاویر جهت نمایش میانگین امواج ثبت شده تکرار گردید.

در مرحله بعد، میانگین توان سیگنال‌های ثبت شده به وسیله الکترودهای نواحی مختلف مغز و در فرکانس‌های متفاوت برای هر تصویر در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه (با وجود این که مدت زمان ارائه هر تصویر در مرحله آزمایش ۱۰ ثانیه بوده است، ولی بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه انتخاب شد که حداکثر توجه کاربران معطوف به تصاویر بوده است)

جدول ۴. میانگین توان سیگنال‌های ثبت شده نواحی مختلف مغز کاربران در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱ (پل شماره ۱)

نواحی سیگنال‌های میانگین در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱ نواحی سیگنال‌های میانگین در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱

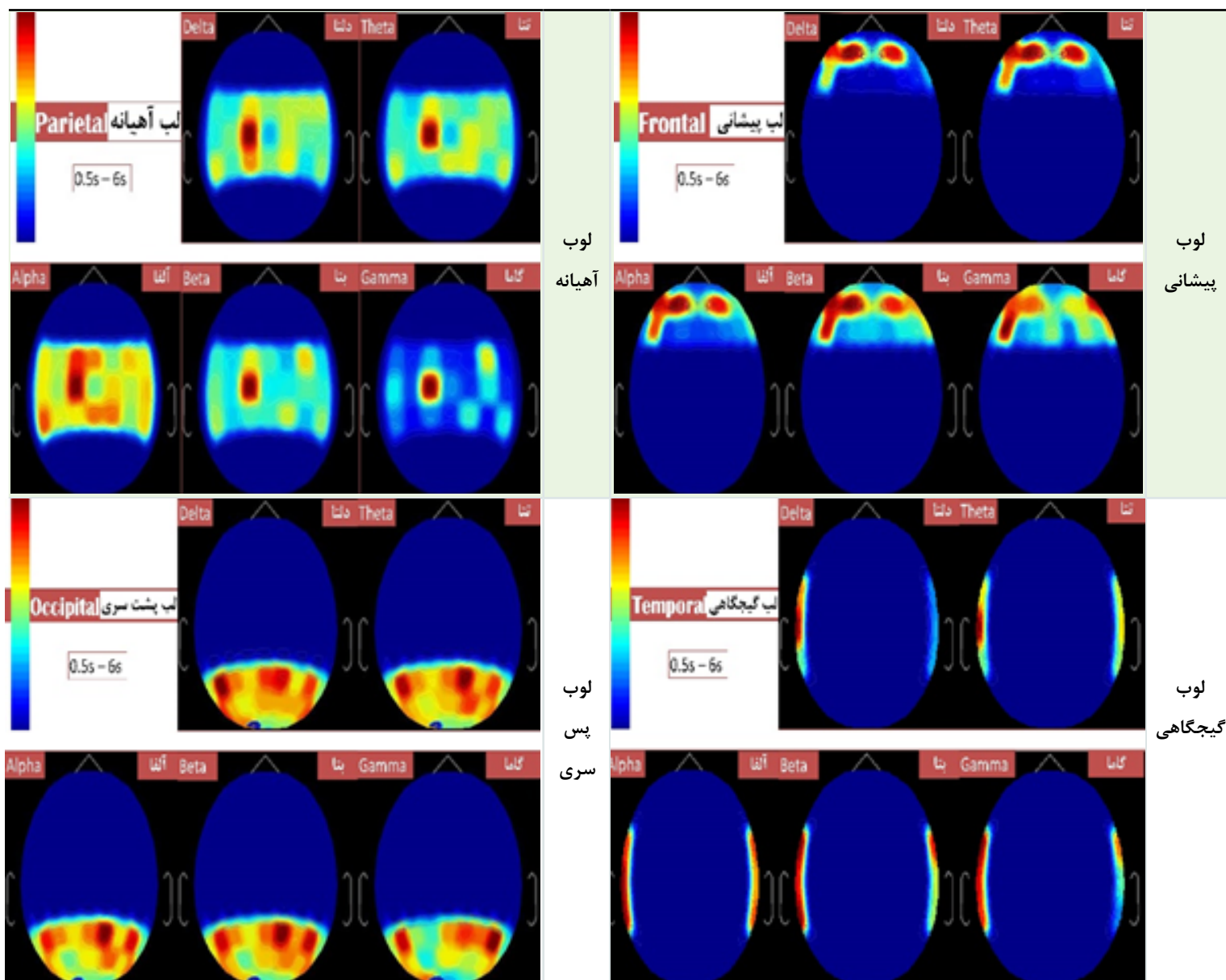


زمانی ۰ ثانیه تا ۶ ثانیه میانگین (با توجه به این که نقشه‌های رنگی در هر لحظه متفاوت است، برای استخراج یک نقشه رنگی واحد از هر بازه زمانی، از نقشه‌های رنگی متفاوت در طول بازه میانگین گرفته می‌شود) گرفته شده‌اند (برای همه تصاویر نیز چنین روندی تکرار گردید).

بعد از خروجی گرفتن میانگین توان فرکانس‌های مغزی در نواحی مختلف مغز برای هر تصویر، نقشه‌های رنگی (Color maps) مغز کاربران در نواحی مختلف نیز استخراج گردید. جدول ۵ نقشه‌های رنگی نواحی مختلف مغز را برای تصویر شماره ۱ نمایش می‌دهد که در بازه

جدول ۵. نقشه‌های رنگی نواحی مختلف مغز کاربران در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱

نواحی سیگنال‌های میانگین در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱ نواحی سیگنال‌های میانگین در فرکانس‌های مختلف برای تصویر شماره ۱



شماره ۱ توان سیگنال‌های هر ۱۲ کاربر در بازه‌های زمانی و در باندهای فرکانسی مختلف خروجی گرفته شد. جدول ۶ داده‌های خروجی گرفته شده برای تصویر شماره ۱ در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه و در فرکانس‌های دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما را نمایش می‌دهد.

برای مشخص شدن تفاوت معنادار بین تصاویر مختلف از داده‌های خروجی گرفته شده در بازه‌های زمانی مختلف آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) گرفته شد. برای مثال در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه بین داده‌های ثبت شده در فرکانس‌های مختلف با استفاده از آزمون فوق تفاوت معنادار بین داده‌های ثبت شده تصاویر مختلف بررسی شد. جدول ۷ داده‌های ثبت شده در

بعد از خروجی گرفتن از امواج مغزی و استخراج نقشه‌های رنگی مغز کاربران در نواحی مختلف مغز و در فرکانس‌های مختلف برای همه تصاویر و مقایسه آنها با یکدیگر، مشخص گردید که شدت فعالیت امواج مغزی کاربران در زمان مشاهده همه تصاویر بالا بود و از روی امواج مغزی و مشاهده نقشه‌های رنگی مغز کاربران نمی‌توان تفاوت بین تصاویر از نظر تأثیرگذاری بر روی امواج مغزی کاربران را مشخص نمود. بنابراین در مرحله بعد از داده‌های ثبت شده امواج مغزی خروجی گرفته شد تا به وسیله تحلیل‌های آماری تفاوت معنادار بین داده‌های ثبت شده از مشاهده تصاویر مختلف مشخص گردد. برای مثال، برای تصویر

ANOVA گرفته شد. برای همه فرکانس‌ها و در بازه‌های زمانی مختلف جداولی مشابه جدول ۷ خروجی گرفته شد تا مورد تحلیل آماری قرار گیرند.

فرکانس دلتا برای ۸ تصویر مختلف در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه را نشان می‌دهد که در نرم‌افزار اکسل پس از مشخص نمودن داده‌های پرت از آنها آزمون

جدول ۶. توان سیگنال‌های مغزی کاربران برای تصویر شماره ۱ در باندهای فرکانسی مختلف

گاما	بتا	آلفا	تتا	دلتا
کاربر ۱	$2/28 \times 10^{-12}$	$1/24 \times 10^{-12}$	$2/52 \times 10^{-12}$	$1/32 \times 10^{-12}$
کاربر ۲	$2/10 \times 10^{-14}$	$5/23 \times 10^{-14}$	$1/31 \times 10^{-12}$	$4/62 \times 10^{-12}$
کاربر ۳	$2/58 \times 10^{-14}$	$1/14 \times 10^{-12}$	$4/47 \times 10^{-12}$	$2/73 \times 10^{-12}$
کاربر ۴	$2/71 \times 10^{-14}$	$1/33 \times 10^{-12}$	$3/51 \times 10^{-12}$	$2/07 \times 10^{-12}$
کاربر ۵	$3/33 \times 10^{-14}$	$1/11 \times 10^{-12}$	$4/77 \times 10^{-12}$	$1/84 \times 10^{-12}$
کاربر ۶	$6/43 \times 10^{-14}$	$1/64 \times 10^{-12}$	$4/53 \times 10^{-12}$	$1/79 \times 10^{-12}$
کاربر ۷	$2/70 \times 10^{-14}$	$1/00 \times 10^{-12}$	$5/85 \times 10^{-12}$	$3/25 \times 10^{-12}$
کاربر ۸	$2/44 \times 10^{-14}$	$7/29 \times 10^{-14}$	$1/72 \times 10^{-12}$	$7/72 \times 10^{-12}$
کاربر ۹	$2/47 \times 10^{-14}$	$5/39 \times 10^{-14}$	$1/73 \times 10^{-12}$	$8/04 \times 10^{-12}$
کاربر ۱۰	$4/53 \times 10^{-14}$	$1/06 \times 10^{-12}$	$3/57 \times 10^{-12}$	$2/03 \times 10^{-12}$
کاربر ۱۱	$3/84 \times 10^{-14}$	$2/27 \times 10^{-12}$	$3/15 \times 10^{-12}$	$1/57 \times 10^{-12}$
کاربر ۱۲	$6/25 \times 10^{-14}$	$7/82 \times 10^{-14}$	$4/99 \times 10^{-12}$	$2/41 \times 10^{-12}$

جدول ۷. توان سیگنال‌های مغزی کاربران برای تصاویر ۸ گانه در فرکانس دلتا در بازه ۰ تا ۶ ثانیه بدون داده‌های پرت برای انجام آزمون ANOVA

فرکانس دلتا (۰ تا ۶ ثانیه)

تصویر ۱	تصویر ۲	تصویر ۳	تصویر ۴	تصویر ۵	تصویر ۶	تصویر ۷	تصویر ۸	کاربر
$1/32 \times 10^{-12}$	$8/53 \times 10^{-12}$				$1/34 \times 10^{-12}$	$1/71 \times 10^{-12}$	$7/11 \times 10^{-12}$	کاربر ۱
$4/62 \times 10^{-12}$	$5/10 \times 10^{-12}$	$5/15 \times 10^{-12}$	$5/09 \times 10^{-12}$	$5/53 \times 10^{-12}$	$6/11 \times 10^{-12}$	$4/94 \times 10^{-12}$	$4/09 \times 10^{-12}$	کاربر ۲
$2/73 \times 10^{-12}$	$2/33 \times 10^{-12}$	$5/00 \times 10^{-12}$	$8/20 \times 10^{-12}$	$2/56 \times 10^{-12}$				کاربر ۳
$2/07 \times 10^{-12}$		$2/14 \times 10^{-12}$	$1/08 \times 10^{-11}$	$1/68 \times 10^{-12}$	$2/97 \times 10^{-12}$	$2/63 \times 10^{-12}$	$1/63 \times 10^{-12}$	کاربر ۴
$1/84 \times 10^{-12}$	$1/97 \times 10^{-12}$	$2/57 \times 10^{-12}$	$2/76 \times 10^{-12}$	$3/94 \times 10^{-12}$	$1/87 \times 10^{-12}$	$1/70 \times 10^{-12}$	$2/27 \times 10^{-12}$	کاربر ۵
$1/79 \times 10^{-12}$	$8/70 \times 10^{-12}$	$2/21 \times 10^{-12}$	$1/46 \times 10^{-12}$	$1/14 \times 10^{-12}$	$9/41 \times 10^{-12}$	$1/99 \times 10^{-12}$	$1/82 \times 10^{-12}$	کاربر ۶
$3/25 \times 10^{-12}$	$3/37 \times 10^{-12}$	$2/57 \times 10^{-12}$	$1/87 \times 10^{-12}$	$5/41 \times 10^{-12}$	$2/76 \times 10^{-12}$	$1/48 \times 10^{-12}$	$2/73 \times 10^{-12}$	کاربر ۷
$7/72 \times 10^{-12}$	$6/13 \times 10^{-12}$	$5/66 \times 10^{-12}$	$4/50 \times 10^{-12}$	$4/22 \times 10^{-12}$	$5/65 \times 10^{-12}$	$5/33 \times 10^{-12}$	$4/79 \times 10^{-12}$	کاربر ۸
$8/04 \times 10^{-12}$	$7/88 \times 10^{-12}$	$3/54 \times 10^{-12}$	$4/94 \times 10^{-12}$	$3/76 \times 10^{-12}$	$3/26 \times 10^{-12}$	$4/03 \times 10^{-12}$	$6/18 \times 10^{-12}$	کاربر ۹
$2/03 \times 10^{-12}$	$2/55 \times 10^{-12}$	$1/56 \times 10^{-12}$	$1/88 \times 10^{-12}$	$2/28 \times 10^{-12}$	$9/94 \times 10^{-12}$	$1/59 \times 10^{-12}$	$2/49 \times 10^{-12}$	کاربر ۱۰
$1/57 \times 10^{-12}$	$2/30 \times 10^{-12}$	$2/71 \times 10^{-12}$	$1/69 \times 10^{-12}$	$2/19 \times 10^{-12}$	$1/34 \times 10^{-12}$	$2/75 \times 10^{-12}$	$2/90 \times 10^{-12}$	کاربر ۱۱
$2/41 \times 10^{-12}$	$2/44 \times 10^{-12}$	$2/98 \times 10^{-12}$	$2/85 \times 10^{-12}$	$3/16 \times 10^{-12}$	$2/48 \times 10^{-12}$	$2/40 \times 10^{-12}$	$1/68 \times 10^{-12}$	کاربر ۱۲

۶ ثانیه انتخاب شد و در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه تفاوت بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت که تفاوت معناداری بین داده‌های فرکانس‌های مختلف مشاهده نشد (جدول ۸).

آزمون ANOVA برای داده‌های خروجی گرفته شده و از توان سیگنال‌های مغزی برای تصاویر مختلف در بازه‌های زمانی متفاوت و در فرکانس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا طول بازه زمانی

جدول ۸. نتایج حاصل از آزمون ANOVA در بازه زمانی ۰ تا ۶ ثانیه در فرکانس دلتا

تصویر ۱	تصویر ۲	تصویر ۳	تصویر ۴	تصویر ۵	تصویر ۶	تصویر ۷
تصویر ۲	$6/34 \times 10^{-14}$					
تصویر ۳	$3/53 \times 10^{-13}$	$4/15 \times 10^{-13}$				
تصویر ۴	$1/24 \times 10^{-12}$	$1/30 \times 10^{-12}$	$8/87 \times 10^{-13}$			
تصویر ۵	$4/01 \times 10^{-13}$	$4/65 \times 10^{-13}$	$4/91 \times 10^{-14}$	$8/38 \times 10^{-13}$		
تصویر ۶	$2/81 \times 10^{-13}$	$2/17 \times 10^{-13}$	$6/33 \times 10^{-13}$	$1/52 \times 10^{-12}$	$6/82 \times 10^{-13}$	
تصویر ۷	$1/47 \times 10^{-13}$	$8/35 \times 10^{-14}$	$4/99 \times 10^{-13}$	$1/39 \times 10^{-12}$	$5/48 \times 10^{-13}$	$1/34 \times 10^{-13}$
تصویر ۸	$1/43 \times 10^{-13}$	$7/96 \times 10^{-14}$	$4/95 \times 10^{-13}$	$1/38 \times 10^{-12}$	$5/44 \times 10^{-13}$	$1/38 \times 10^{-13}$
LSD	HSD	Scheffe	خانه‌های رنگی نشان‌دهنده تفاوت معنادار می‌باشند			
$P=0/367$			تفاوت معنادار وجود ندارد زیرا $P>0/05$ می‌باشد			

که تفاوت معناداری بین داده‌های فرکانس‌های مختلف مشاهده نشد (جدول ۹).

سپس طول بازه زمانی به ۳ ثانیه کاهش یافت و آزمون ANOVA در بازه‌های زمانی ۰ تا ۳ و ۳ تا ۶ ثانیه مورد بررسی قرار گرفت

جدول ۹. نتایج حاصل از آزمون ANOVA در بازه زمانی ۰ تا ۳ ثانیه در فرکانس گاما

تصویر ۱	تصویر ۲	تصویر ۳	تصویر ۴	تصویر ۵	تصویر ۶	تصویر ۷
تصویر ۲	$1/10 \times 10^{-14}$					
تصویر ۳	$1/00 \times 10^{-15}$	$1/20 \times 10^{-14}$				
تصویر ۴	$1/31 \times 10^{-17}$	$1/10 \times 10^{-14}$	$9/91 \times 10^{-16}$			
تصویر ۵	$5/30 \times 10^{-15}$	$5/73 \times 10^{-15}$	$6/30 \times 10^{-15}$	$5/31 \times 10^{-15}$		
تصویر ۶	$4/91 \times 10^{-15}$	$1/59 \times 10^{-14}$	$3/90 \times 10^{-15}$	$4/89 \times 10^{-15}$	$1/02 \times 10^{-14}$	
تصویر ۷	$7/91 \times 10^{-16}$	$1/02 \times 10^{-14}$	$1/80 \times 10^{-15}$	$8/04 \times 10^{-16}$	$4/51 \times 10^{-15}$	$5/70 \times 10^{-15}$
تصویر ۸	$4/34 \times 10^{-15}$	$1/54 \times 10^{-14}$	$3/34 \times 10^{-15}$	$4/33 \times 10^{-15}$	$9/64 \times 10^{-15}$	$5/62 \times 10^{-16}$
LSD	HSD	Scheffe	خانه‌های رنگی نشان‌دهنده تفاوت معنادار می‌باشند			
$P=0/477$			تفاوت معنادار وجود ندارد زیرا $P>0/05$ می‌باشد			

طول بازه زمانی به ۱ ثانیه کاهش یافت و در بازه‌های زمانی ۰ تا ۱، ۱ تا ۲، ۲ تا ۳، ...، ۵ تا ۶ آزمون ANOVA برای مشخص نمودن تفاوت معنادار بین

داده‌ها به کار گرفته شد که در فرکانس تتا و در بازه زمانی ۵ تا ۶ ثانیه تفاوت معنادار بین داده‌های تصویر شماره ۴ با سایر تصاویر وجود داشت (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. نتایج حاصل از آزمون ANOVA در بازه زمانی ۵ تا ۶ ثانیه در فرکانس تتا

تصویر ۷	تصویر ۶	تصویر ۵	تصویر ۴	تصویر ۳	تصویر ۲	تصویر ۱
						تصویر ۲ $9/58 \times 10^{-14}$
					$8/98 \times 10^{-14}$	تصویر ۳ $5/97 \times 10^{-15}$
				$2/56 \times 10^{-13}$	$3/46 \times 10^{-13}$	تصویر ۴ $2/50 \times 10^{-13}$
			$3/35 \times 10^{-13}$	$7/94 \times 10^{-14}$	$1/04 \times 10^{-14}$	تصویر ۵ $8/54 \times 10^{-14}$
		$2/04 \times 10^{-14}$	$3/56 \times 10^{-13}$	$9/98 \times 10^{-14}$	$1/00 \times 10^{-14}$	تصویر ۶ $1/06 \times 10^{-13}$
	$3/22 \times 10^{-15}$	$2/36 \times 10^{-14}$	$3/59 \times 10^{-13}$	$1/03 \times 10^{-13}$	$1/32 \times 10^{-14}$	تصویر ۷ $1/09 \times 10^{-13}$
$3/42 \times 10^{-14}$	$3/10 \times 10^{-14}$	$1/06 \times 10^{-14}$	$3/25 \times 10^{-13}$	$6/88 \times 10^{-14}$	$2/10 \times 10^{-14}$	تصویر ۸ $7/48 \times 10^{-14}$
خانه‌های رنگی نشان‌دهنده تفاوت معنادار می‌باشند						
تفاوت معنادار وجود ندارد زیرا $P > 0/05$ می‌باشد						
$P = 0/040$						
LSD HSD Scheffe						

همچنین بازه زمانی به فاصله ۰/۵ ثانیه کاهش یافت و در بازه‌های زمانی ۰/۵ تا ۱، ۱ تا ۵/۵، ...، ۵ تا ۶ ثانیه تفاوت بین داده‌های بررسی شد

که در بازه زمانی ۵ تا ۵/۵ ثانیه تفاوت معنادار بین داده‌های تصویر شماره ۴ با سایر تصاویر مشخص گردید (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. نتایج حاصل از تست آنوا در بازه زمانی ۵ تا ۵/۵ ثانیه در فرکانس دلتا

تصویر ۷	تصویر ۶	تصویر ۵	تصویر ۴	تصویر ۳	تصویر ۲	تصویر ۱
						تصویر ۲ $2/50 \times 10^{-14}$
					$4/90 \times 10^{-14}$	تصویر ۳ $2/40 \times 10^{-14}$
				$1/34 \times 10^{-12}$	$1/39 \times 10^{-12}$	تصویر ۴ $1/37 \times 10^{-12}$
			$1/24 \times 10^{-12}$	$1/04 \times 10^{-13}$	$1/53 \times 10^{-13}$	تصویر ۵ $1/28 \times 10^{-13}$
		$1/28 \times 10^{-13}$	$1/37 \times 10^{-12}$	$2/40 \times 10^{-14}$	$2/50 \times 10^{-14}$	تصویر ۶ $8/39 \times 10^{-17}$
	$1/04 \times 10^{-13}$	$2/40 \times 10^{-14}$	$1/26 \times 10^{-12}$	$8/04 \times 10^{-14}$	$1/29 \times 10^{-13}$	تصویر ۷ $1/04 \times 10^{-13}$
$1/18 \times 10^{-14}$	$1/16 \times 10^{-13}$	$1/23 \times 10^{-14}$	$1/25 \times 10^{-12}$	$9/22 \times 10^{-14}$	$1/41 \times 10^{-13}$	تصویر ۸ $1/16 \times 10^{-13}$
خانه‌های رنگی نشان‌دهنده تفاوت معنادار می‌باشند						
تفاوت معنادار وجود ندارد زیرا $P > 0/05$ می‌باشد						
$P = 0/029$						
LSD HSD Scheffe						

بحث

از بررسی نقشه‌های رنگی و میانگین توان سیگنال‌های مغزی کاربران مشخص گردید که فعالیت مغزی کاربران در هنگام مشاهده تصاویر در فرکانس‌ها و نواحی مختلف به صورت مشابهی زیاد بوده است و همه تصاویر موجب تشدید فعالیت مغزی کاربران شده‌اند. همچنین با انجام محاسبات آماری بر روی داده‌های خروجی گرفته شده از توان سیگنال‌های مغزی کاربران در بازه‌های زمانی مختلف مشخص گردید که در بازه‌های زمانی طولانی‌تر، تفاوت معناداری بین تصاویر وجود ندارد و هر چه بازه زمانی کوتاه‌تر می‌شود تفاوت معنادار بین داده‌های تصاویر مختلف مشاهده می‌شود و این به آن معناست که فعالیت مغزی کاربران در هنگام مشاهده همه تصاویر در باندهای فرکانسی یکسان،

مشابه بوده است. به علت همین شباهت فعالیت مغزی کاربران در حین مشاهده تصاویر، تفاوت معنادار بین داده‌های تصاویر در بازه‌های زمانی طولانی (۰ تا ۶ ثانیه) مشاهده نشد. بنابراین برای دریافت نتایج بهتر از آزمون آماری، بازه‌های زمانی کوتاه‌تر شد و در هر گام کوتاه شدن بازه‌های زمانی تفاوت معنادار بین داده‌ها بیشتر نمایان گردید. با انجام محاسبات آماری مشخص گردید که بین داده‌های امواج مغزی کاربران در هنگام مشاهده تصویر شماره ۴ با داده‌های سایر تصاویر تفاوت معنادار وجود دارد و این سیستم سازه‌ای تأثیر بیشتری بر روی امواج مغزی کاربران ایجاد نموده است. این یافته را می‌توان با پاسخ رفتاری کاربران در حین مشاهده تصاویر نیز مقایسه کرد که اکثر کاربران تصویر شماره ۴ را به عنوان تصویری خوشایند انتخاب نمودند (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. پاسخ رفتاری کاربران در حین مشاهده تصاویر (۱: خوشایند، ۰: ناخوشایند، -: بدون پاسخ)

کاربر ۱ کاربر ۲ کاربر ۳ کاربر ۴ کاربر ۵ کاربر ۶ کاربر ۷ کاربر ۸ کاربر ۹ کاربر ۱۰ کاربر ۱۱ کاربر ۱۲

تصویر ۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	خوشایند: ۵
	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ناخوشایند: ۷
تصویر ۲	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	خوشایند: ۵
	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	ناخوشایند: ۷
تصویر ۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	خوشایند: ۲
	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	ناخوشایند: ۱۰
تصویر ۴	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	خوشایند: ۱۰
	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	ناخوشایند: ۲
تصویر ۵	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	-	۱	۰	۱	خوشایند: ۶
	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	-	۱	۰	۱	ناخوشایند: ۵
تصویر ۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	خوشایند: ۲
	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	ناخوشایند: ۹
تصویر ۷	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	خوشایند: ۸
	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	ناخوشایند: ۴
تصویر ۸	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	خوشایند: ۸
	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	ناخوشایند: ۴

همان‌گونه که در جداول ۸ تا ۱۱ مشخص است، خانه‌هایی از جدول که با رنگ زرد مشخص شده‌اند بیان‌گر مقادیری هستند که نزدیک

به مقادیر ایجاد تفاوت معنادار می‌باشند و خانه‌هایی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند مقادیری را نشان می‌دهند که منجر به تفاوت معنادار

نتیجه‌گیری

با انجام پژوهش‌هایی از این قبیل می‌توان ادراکات و احساسات مردم را در روند طراحی معماری عناصر شهری تأثیر داد و به نوعی زمینه طراحی یک اثر معماری انسان-محور را ایجاد نمود. در پژوهش حاضر مشخص شد که پل‌ها با سیستم‌های سازه‌ای کششی تأثیرگذاری بیشتری بر عملکرد مغزی کاربران دارند و در صورت استفاده از ایده‌های خلاقانه در طراحی پل‌ها می‌توان این تأثیرگذاری را بیشتر نمود. همچنین مشخص گردید استفاده از عناصر خربایی در سازه و ظاهر پل‌ها نمی‌تواند تأثیر زیادی بر عملکرد مغزی کاربران داشته باشد. لذا بهتر است از این گونه سیستم‌های سازه‌ای برای پل‌های شهری استفاده نشود. بنابراین اگر قرار باشد بر مبنای نتایج این پژوهش پلی طراحی شود، بهترین انتخاب برای سازه پل، سیستم سازه‌ای متکی بر کابل با تک دکل در یک سمت پل می‌باشد. برای حصول به نتایج قابل تعمیم، نیاز به پژوهش‌های بیشتری در خصوص تأثیر سیستم‌های سازه‌ای پل بر عملکرد مغز کاربران می‌باشد.

انجام و به نتیجه رساندن این پژوهش نشان‌دهنده استفاده از یک روش دقیق و نوین برای استفاده از نظرات مردم در طراحی آثار معماری و عناصر شهری می‌باشد و می‌تواند سرآغاز نگاهی نو به معماری انسان-محور و کاربر-محور و توجه به انسان در طراحی و ساخت عناصر شهری باشد. استفاده از دانش علوم شناختی و روش‌ها و رویکردهای متنوع آن در این زمینه می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد.

برای پژوهش‌های بیشتر در حوزه معماری و علوم شناختی پیشنهاد می‌شود علاوه بر پل‌ها، عناصر سازه‌ای نمایان فضاهای معماری و فرم‌های متنوعی که برای آنها استفاده می‌شوند مانند سقف‌های سازه‌ای فضاکار، خربایی و... که به سبب بازدهی سازه‌ای بالا برای پوشش سقف‌ها و دهانه‌های طویل در سالن‌ها و فضاهای نیمه باز عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شناسایی و در پژوهشی این‌چنینی تأثیر آنها بر مغز کاربران مشاهده گردد و نتایج آنها در طراحی آثار و فضاهای معماری اثر داده شود تا به کمک دانش علوم شناختی به سمت هدف اصلی معماری، یعنی معماری برای مردم حرکت گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری مصوب دانشگاه مازندران در سال ۹۴ می‌باشد. در پایان از تمام کسانی که در انجام این پژوهش کمک‌کننده بودند و از تمام دانشجویانی که در این پژوهش شرکت داشتند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

شده‌اند ($P < 0.05$). حال از مشاهده جدول ۱۰ مشخص می‌شود که بین تصویر ۴ با تصاویر ۲، ۶ و ۷ تفاوت معنادار ایجاد شده است و بین تصویر ۴ با تصاویر ۱، ۳، ۵ و ۸ با توجه به خانه‌های زرد رنگ جدول و داده‌های موجود تفاوت معنادار نزدیک به حاصل شدن است. همچنین از مشاهده جدول ۱۱ نیز می‌توان نتیجه گرفت که بین تصویر ۴ با تصاویر ۱، ۲، ۳ و ۶ تفاوت معنادار ایجاد شده است و بین تصویر ۴ با تصاویر ۵، ۷ و ۸ تفاوت معنادار نزدیک به رخ دادن است. با در نظر گرفتن هر دو جدول می‌توان به این صورت نتیجه گرفت که بین تصویر ۴ با تصاویر ۲ و ۶ تفاوت معنادار در هر دو جدول ایجاد شده و بین تصویر ۴ با تصاویر ۵ و ۸ تفاوت معنادار در نهایت رخ نداده است. داده‌های جدول ۱۲ نیز نشان می‌دهد که تصاویر ۱، ۲، ۳ و ۶ تعداد پاسخ‌های ناخوشایند بیشتری و تصاویر ۴، ۵، ۷ و ۸ پاسخ‌های خوشایند بیشتری دریافت نمودند.

با توجه به ویژگی‌های فیزیکی پل‌ها و مقایسه تصاویر آنها بر اساس پاسخ‌های رفتاری کاربران می‌توان استنباط نمود که مشخصه‌های فیزیکی شامل؛ قوس بتنی، کابل منحنی، دکل میانی، دکل مایل، دکل تک عنصره، آویز کششی، کابل مهاری، آرایش منظم کابل‌ها، عنصر فشاری بتنی و عرشه جعبه در پل‌ها باعث خوشایندی آنها و مشخصه‌های فیزیکی از جمله؛ قوس خربایی، قوس فلزی با مقطع جعبه، عنصر فشاری خربایی، و عرشه خربایی موجب ایجاد احساس ناخوشایند در کاربران شده است.

حال می‌توان در ارتباط با پژوهش و نتایج حاصل از انجام محاسبات آماری به شکل زیر نتیجه‌گیری نمود:

- بین تصویر ۴ و تصاویر ۵ و ۸ تفاوت معنادار در نهایت رخ نداده است و این تصاویر بیشترین تأثیر را نسبت به سایر تصاویر بر روی امواج مغزی کاربران ایجاد نموده‌اند. با توجه به ویژگی فیزیکی پل‌ها می‌توان استنباط نمود که تصاویر پل‌های با سیستم‌های سازه‌ای کششی که در آنها از عناصر کششی و کابل استفاده شده است تأثیر بیشتری نسبت به سایر تصاویر بر امواج مغزی کاربران ایجاد نموده‌اند. همچنین تصویر شماره ۴ که نحوه قرارگیری دکل پل به صورت متفاوت و معمارانه می‌باشد، بیشترین تأثیر را نسبت به سایر تصاویر بر عملکرد مغزی کاربران ایجاد نموده است.

- بین تصویر ۴ و تصاویر ۲ و ۶ تفاوت معنادار در فرکانس‌ها و بازهای زمانی مختلف وجود دارد و تصاویر ۲ و ۶ کمترین تأثیر را نسبت به سایر تصاویر بر امواج مغزی کاربران ایجاد نموده‌اند. از آنجایی که مهمترین ویژگی این پل‌ها عناصر خربایی است، به نظر می‌رسد وجود عناصر خربایی در آنها موجب شده است که این تصاویر کمترین تأثیر را نسبت به سایر تصاویر بر امواج مغزی کاربران داشته باشند.

از دستگاه EEG ۶۴ کاناله را برای انجام این پژوهش فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

همچنین از مسئولین و عوامل آزمایشگاه روان‌شناسی دانشگاه پیام‌نور تهران واحد جنوب که فضای لازم برای انجام آزمایش و شرایط استفاده

References

1. Alimardani M, Razzaghi Asl S, Vaezi M. Methods (psychological) assessment and analysis of quality and aesthetics and urban landscape. The First Regional Conference on Architecture and Urbanism. 2013 Oct. 11; Saqqez, Iran;2012 (Persian)
2. Karimi Moshaver M. Approaches and methods in urban aesthetics. Bagh-e Nazar. 2014;10(24)37-56. (Persian)
3. Behbodi R. Perception in architecture measuring European tourists' perception towards Isfahan's Iranian-Islamic architecture. Honar-Ha-Ye-Ziba: Memari-Va-Sharsazi. 2012;17(3):41-48. (Persian)
4. Motalebi Q. Environmental psychology: The new knowledge-based discipline at architecture and urban design's service. Honar-Ha-Ye-Ziba: Honar-Ha-Ye-Tajassomi. 2002;10(0):52-67. (Persian)
5. Lang J. The creating of architectural theory, the role of behavioral sciences in environmental design. Eynifar A, Translator. Tehran:University of Tehran;2011. (Persian)
6. Torabi Nami M, Kharrazi SK. Neuroscience, cognitive studies, and modern medical education methods. *Interdisciplinary Journal of Virtual Learning in Medical Sciences*. 2012;3(2):24-34. (Persian)
7. De Paiva A. Neuro-architecture & workplace design how space can affect performance and well-being. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
8. Gonzales M, Jackson M. Interactive architecture and BCI: Expanding the relationship between space and user. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
9. Morichetto H, Wijk H, Nylander O. Atmosphere, wellbeing and health in residential architecture: Linkages to neuroscience?. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
10. Eberhard JP. Brain landscape the coexistence of neuroscience and architecture. New York:Oxford University Press;2009.
11. Rolim AL, Canuto R. Architecture and neuroscience: Towards spatial atmosphere and sensory experience in a phenomenology-based design methodology. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
12. Aoun RG. Emotional design in architecture. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
13. Augustin S. Culture, neuroscience, and design. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
14. Rho YA, Lee S, Kwon J, Shin W, Kim H, Jeong J. The impact of positional configuration of a desk in a room on attention and creativity. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
15. Rho YA, Shin W, Kwon J, Lee S, Kim H, Jeong J. The influence of human distractors with different desk position configurations in a sharing office on the performance of tasks. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
16. Choo H, Nasar JL, Nikrahei B, Walther DB. Neural codes of seeing architectural styles. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1-8.
17. 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.
18. Banaei M, Yazdanfar A, Nooreddin M, Yoonessi A. Enhancing urban trails design quality by using electroencephalography Device. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2015;201:386-396.
19. Shan X, Yang EH. EEG Pattern Recognition and Classification for Thermal Comfort. 2016 ANFA Conference. 2014 Sep 23-24; La Jolla, California, USA;2016.
20. Essawy S, Kamel B, El-Sawy MS. Sacred buildings and brain performance: The effect of Sultan Hasan Mosque on brain waves of its users. *Creative Space*. 2014;1(12):123-141.

21. Essawy S, Kamel B, Elsawy MS. Timeless buildings and the human brain: The effect of spiritual spaces on human brain waves. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*. 2014;8(1):133-142.
22. Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Gonzalez-Mora JL, Leder H, et al. Architectural design and the brain: effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. *Journal of Environmental Psychology*. 2015;41:10-18.
23. Babiloni F, Cherubino P, Graziani I, Trettel A, Bagordo G, Cundari C, et al. 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 Aug 26-28; Chicago, IL, USA;2014. pp. 6965-6968. IEEE.
24. 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):425-429.
25. Peirce JW. Generating stimuli for neuroscience using PsychoPy. *Frontiers in Neuroinformatics*. 2009;2:10.