

Nonlinear EEG Processing and Statistical Analysis in the Study of Preference and Liking a Product

Raiesdana, Somaye^{1*} / Safari, Samane²

¹ - Assistant Professor, Biomedical Engineering Group, Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

² - M.Sc. Biomedical Engineering Group, Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/IJBME.2019.103139.1442

Received: 1 February 2019

Revised: 30/4/2019-25/5/2019

Accepted: 12 July 2019

KEYWORDS

EEG Signal
Neuromarketing
Independent Component Analysis
Approximate Entropy
Neurofuzzy
Statistical Analysis
Brain Mapping

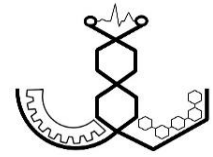
ABSTRACT

In this study, a neuromarketing project was conducted via EEG signal processing in which the individuals' interest for buying a relatively luxurious decorative product (which has a relative advantage in exports based on commonly evaluated criteria and indicators in economic) was evaluated. EEG signals of 24 participants during observing and selecting gemstone images were recorded and processed in order to analyze statistical significance of brain activity variations involved in the emotional (liking) and the decision making (choosing) processes. The recorded signals during the stimulation and selection phases were pre-processed in several steps to remove the existing noises and artifacts. Then, the 19-channel EEGs were processed via multiple tools to indicate active brain regions while watching gemstones. Brain mapping and regional analysis indicated that the occipital>frontal>limbic regions were more activated than other regions. Moreover, the left hemisphere has been more active than the right hemisphere. At the next step, nonlinear entropy feature of each signal segment was extracted to be used for training a neurofuzzy system which is an automatic classifier that learns to classify the individuals' choices. The classification has resulted in 86.25% precision and 87.4% accuracy in a three-class classification task (including two pleasant selections and one unpleasant selection). At the final step, using a questionnaire filled by participants following the recording session, a number of statistical analyses were performed over the self-conscious and unconscious by means of statistical tools including t-test, analysis of variance and regression. The results of statistical tests indicated that there are significant differences for the cognition of liking or preferring among different choices and based on the selections made by women and men. Furthermore, the lack of existence of a significant difference between conscious and unconscious choices were rejected.

***Corresponding Author**

Address	Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran		
Postal Code	15195-34199	Tel	+98-28-33665275
E-Mail	srdn@qiau.ac.ir	Fax	+98-28-33665279





پردازش غیرخطی و آنالیز آماری سیگنال‌های EEG در بررسی خوشایندی و علاقه‌مندی به انتخاب یک کالا

رئیس‌دانا، سمیه^{*۱} / صفری، سمانه^۲

^۱ - استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
^۲ - کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/IJBME.2019.103139.1442

پذیرش: ۲۱ تیر ۱۳۹۸

بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۴-۱۳۹۸/۲/۱۰

ثبت در سامانه: ۱۲ بهمن ۱۳۹۷

چکیده

واژه‌های کلیدی

در این پژوهش، یک طرح بازاریابی عصبی توسط پردازش سیگنال‌های EEG انجام شده و در آن میزان علاقه‌مندی افراد جامعه به خرید یک کالای تزئینی نسبتاً لوکس مورد ارزیابی قرار گرفته است. سیگنال‌های مغزی ۲۴ شرکت‌کننده در هنگام تماشای تصاویر سنگ‌های زینتی (که بر اساس معیارها و شاخص‌های ارزیابی متداول در امور اقتصادی، دارای مزیت نسبی در صادرات است) ثبت و پردازش شده تا اطلاعات معناداری از فعالیت مغزی که درگیر فرایند احساسی/دوست‌داشتن و تصمیم‌گیری/انتخاب است به دست آید. سیگنال‌های ثبت شده در فاز تحریک و انتخاب، برای حذف نویزها و آرتیفکت‌ها در چند مرحله پیش‌پردازش شده‌اند. سپس برای به دست آوردن نواحی فعال مغز هنگام تماشای سنگ‌های ارزشمند، داده‌های ۱۹-کاناله‌ی EEG توسط ابزارهای چندگانه پردازش شده است. نگاشت مغزی و آنالیز منطقه‌ای نشان می‌دهد که فعالیت نواحی اکسیپیتال <فرونتال> لیمبیک بیش از سایر نواحی مغز بوده و هم‌چنین نیم‌کره‌ی چپ بیش از نیم‌کره‌ی راست فعالیت داشته است. در فاز بعدی، ویژگی غیرخطی آنتروپی تقریبی از سیگنال‌ها استخراج شده و از آن برای آموزش شبکه‌ی عصبی-فازی استفاده شده است. شبکه‌ی نوروفازی به عنوان طبقه‌بند اتوماتیک جهت آموزش و پیش‌بینی انتخاب افراد به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از این پردازش دارای صحت ۸۶/۲۵٪ و دقت ۸۷/۴٪ در کلاس‌بندی سه‌گروهه (دو گروه خوشایند و یک گروه ناخوشایند بر حسب انتخاب‌های کاربران) می‌باشد. در فاز نهایی، با استفاده از اطلاعات به دست آمده از پرسش‌نامه‌ای که توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شده، بعد از جلسه‌ی ثبت، آنالیز آماری ناخودآگاه و خودآگاه توسط آزمون t، آنالیز واریانس و رگرسیون انجام شده است. نتایج آزمون آماری حاکی از وجود تفاوت معناداری بین شناخت خوشایندی و ناخوشایندی در انتخاب بین گروه خانم‌ها و آقایان و در انتخاب انواع سنگ‌ها می‌باشد. هم‌چنین با استفاده از نتایج آزمون آماری، فرضیه‌ی عدم وجود تفاوت معنادار میان انتخاب‌های خودآگاه و ناخودآگاه، مردود شد.

سیگنال EEG
بازاریابی عصبی
آنالیز مولفه‌های مستقل
آنتروپی تقریبی
شبکه‌ی عصبی-فازی
آنالیز آماری
نگاشت مغزی

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی: گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تلفن: ۹۸-۲۸-۳۳۶۶۵۲۷۵

۱۵۱۹۵-۳۴۱۹۹

دورنگار: ۹۸-۲۸-۳۳۶۶۵۲۷۹

srdn@qiau.ac.ir

پست الکترونیک



۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در حوزه‌ی علوم شناختی و نورومارکتینگ (یکی از زیرمجموعه‌های این حوزه) انجام شده که باعث افزایش دانش در این زمینه شده است. استخراج احساسات و ترجیحات افراد از ناخودآگاه آن‌ها (موضوع بازاریابی عصبی) می‌تواند به عنوان یک روش قابل اطمینان برای ارزیابی میزان علاقه‌مندی افراد به کالا و خدمات مورد بررسی در نظر گرفته شود. نورومارکتینگ یک علم بین‌رشته‌ای در مرز میان علوم اعصاب، روان‌شناسی و بازاریابی است [۱، ۲] که به لزوم درک بهتر عمل‌کرد مغز و بررسی رفتار مصرف‌کننده از دیدگاه مغز انسان تاکید دارد. بازاریابی بر پایه‌ی علم عصب شناختی، به عنوان ابزاری جدید در تحقیقات بازار، سعی دارد تا با تمرکز روی تحریک مغز بتواند نظر مشتریان بیش‌تری را به محصول مورد نظر جذب کرده و افراد بیش‌تری از آن‌ها را به خرید محصول ترغیب نماید. امروزه محققان دریافته‌اند که ذهن ناخودآگاه نسبت به ذهن خودآگاه تاثیر بیش‌تری بر زندگی و انتخاب‌های انسان می‌گذارد. در این تکنولوژی، مدلی مورد بحث است که در آن بخش اصلی پیکره‌ی فکری فعالیت انسان، در ناحیه‌ی ناخودآگاه مغز و با آگاهی کنترل شده‌ی نسبتاً کمی صورت می‌گیرد. به همین دلیل، محققان حوزه‌ی قوه‌ی ادراک، تمایل دارند تا تکنیک‌های مفیدی را برای دست‌کاری موثر در فعالیت ناخودآگاه مغز فرا گیرند. یکی از اهداف این علم، افزایش اثربخشی پیام‌های تبلیغاتی و به تبع آن افزایش فروش محصولات است. البته فعالیت نورومارکتینگ محدود به بحث تبلیغات نبوده و می‌توان از آن در زمینه‌های متنوعی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی و نیز کمک به تولیدکنندگان در راستای بهبود و بهینه‌سازی کالاها استفاده کرد. در واقع هدف نهایی این گونه تحقیقات، هدایت طراحی و ارائه‌ی محصولات بهینه منطبق با خواسته‌های مصرف‌کننده است. از دیدگاه علوم شناختی، هدف نورومارکتینگ آشنایی با کارکرد مغز، آگاهی از ذهنیت و طرز فکر مخاطبان بازار و پی بردن به عوامل درونی موثر در انتخاب‌های افراد می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان اطلاعات پنهان در مغز ناخودآگاه مصرف‌کنندگان را بدون پرسیدن سوالی در مورد علایق آن‌ها، به طور مستقیم از فعالیت مغزشان استخراج کرد [۳].

در راستای مدل‌سازی نقشه‌ی ذهن مشتری در نورومارکتینگ، رنواز و مورین [۴] شش نوع از محرک‌های تعیین‌کننده‌ی بازاریابی عصبی شامل خودمحوری، تضاد پذیری، ملموس بودن، شروع و پایان، دیداری و احساس یا هیجان را ارائه کردند.

مشتری به صورت ناخودآگاه به تولیدکننده‌ی محصول اهمیت نمی‌دهد و عمدتاً به بهبود و سودی که از محصول مورد نظر به او می‌رسد فکر می‌کند (محرک خودمحوری). یکی از مهم‌ترین دلایل قطعی شدن تصمیم خرید، وجود تضاد در ویژگی‌های محصولات مختلف است که مشتری باید از میان آن‌ها انتخاب کند (محرک تضاد پذیری). اثبات‌پذیری و ساده بودن داده‌های مربوط به ویژگی‌های یک محصول می‌تواند به تصمیم گرفتن یک مغز دیرباور کمک شایانی نماید (محرک ملموس بودن). مغز به صورت معمول، شروع و پایان محتوای ارائه شده را به یاد می‌سپارد (محرک شروع و پایان). یک تصمیم‌گیری سریع و مطمئن، بدون شک از طریق محرک‌های دیداری صورت می‌گیرد (محرک دیداری). محرک احساس یا هیجان می‌تواند یادآور یا تولیدکننده‌ی انفعالاتی باشد که در تصمیم‌گیری‌های خریداران بسیار تاثیرگذار هستند. به این ترتیب هر تحقیقی در این حوزه باید یکی از موارد فوق را به چالش کشیده و اثرات آن را روی واکنش‌ها و رفتارهای مخاطب و فرایند تصمیم‌گیری وی مورد بررسی قرار دهد.

تحقیقات در حوزه‌ی بازاریابی عصبی، با تجزیه و تحلیل پارامترهایی چون سیگنال‌های بیولوژیکی (EMG، EEG، EOG)، تصاویر مغزی fMRI ردیابی چشم و آنالیز حالت‌های چهره انجام می‌شود. از میان ابزارهای ثبت، سیگنال‌های EEG با توجه به غیرمخرب بودن، حاوی اطلاعات بودن و سهولت ثبت و پردازش، بسیار متعارف‌تر هستند. فعالیت‌های نورونی نواحی مختلف مغز، سیگنال قابل ثبتی در سطح سر (EEG) ایجاد می‌کنند. این سیگنال می‌تواند ناشی از فعالیت غیرارادی مغز، تحریک عمل‌کردی مغز و یا کنترل عضلانی و انجام حرکات باشد. تا کنون در چندین تحقیق از روش استخراج ویژگی‌های مناسب و تمایزگر از سیگنال‌های EEG در حوزه‌های زمان، فرکانس و ... و تجزیه و تحلیل آن‌ها برای یافتن اطلاعات معنادار در مورد عمل‌کرد مغز، برای پیاده‌سازی طرح‌های بازاریابی عصبی و ایجاد مدل‌های تصمیم‌گیر استفاده شده است [۵-۷].

در مقاله‌ی [۸] آزمایشی روی ۳۲ نفر شرکت‌کننده از یک جامعه‌ی دانشجویی انجام شده که در آن شرکت‌کنندگان تعداد ۱۸ تبلیغ از فیلم‌های تجاری منتشر شده (فیلم‌های تریلر) را به صورت تصادفی مشاهده کرده و در هنگام مشاهده‌ی فیلم‌ها، EEG افراد ثبت شده است. هدف این مقاله ارائه‌ی یک مدل پیش‌بینی‌کننده از ترجیحات افراد شرکت‌کننده جهت افزایش فروش فیلم‌های تجاری بوده است. هر آزمایش با ارائه‌ی یکی از فیلم‌ها به مدت شش ثانیه آغاز شده، پس از آن یک صفحه‌ی



نویسندگان نتیجه گرفتند که مطالعه‌ی ناخودآگاه مخاطبان در تحلیل رفتار آن‌ها برای دست‌یابی به شناختی دقیق از سازوکارهای مواجهه‌ی رسانه با مخاطبان امری ضروری است. گروهی از محققان نیز از اندازه‌گیری نوروئی برای پیش‌بینی و دسته‌بندی انتخاب‌های واقعی در زمینه‌ی نورومارکتینگ استفاده کرده‌اند. محققان در مقاله‌های [۱۰-۱۲]، تحریک فرد توسط محصولات مصرفی را با استفاده از دو تکنیک ثبت نوروئی ERP و ERSP مورد بررسی قرار دادند. در مقاله‌ی [۱۳] با انجام آزمایشی سه مرحله‌ای، ابتدا شرکت‌کنندگان با ده جفت محصول مصرفی، بدون آگاهی از قیمت آن‌ها آشنا شده و سپس فعالیت عصبی آن‌ها در حال مشاهده‌ی تصاویر این محصولات توسط EEG اندازه‌گیری شده است. در مرحله‌ی نهایی، ثبت EEG متوقف شده، تصاویر محصولات مجدداً نمایش داده شده و از شرکت‌کنندگان خواسته شده تا انتخاب‌های خود را از میان جفت محصولات مشابه انجام داده و سپس محصولات را با توجه به ترجیحات خود رتبه‌بندی کنند. به این ترتیب آن‌ها از اطلاعات EEG به دست آمده در مرحله‌ی ۲ برای پیش‌بینی انتخاب افراد در مرحله‌ی ۳ بهره گرفتند. در این تحقیق، ارتباط فعالیت مناطق مختلف مغز در تمایل/عدم‌تمایل به یک محصول مشخص شده و نتیجه گرفته شد که با اتکا به آنالیز و تحلیل فعالیت‌های مغزی و بدون پرسیدن سوال‌های مستقیم از مصرف‌کننده، می‌توان الگوی مصرف یک محصول را پیش‌بینی کرد. در مقاله‌ی [۱۴]، اثربخشی تبلیغات ساعت‌های لوکس روی افراد جامعه با استفاده از تکنیک نورومارکتینگ مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با سایر روش‌های تحقیقاتی سنتی (نظیر نظرسنجی) مقایسه شده است. این تحقیق روی یک گروه هدف از مصرف‌کنندگان شامل ۱۶۸ عضو از کارشناسان و علاقه‌مندان، انجام شده است. صد نفر اول در فهرست اعضای گروه به عنوان نمونه انتخاب شده و پیوندهای نظرسنجی وب را دریافت کردند. از fMRI و ردیابی چشم نیز به عنوان ابزارهای مکمل در ساختن ادراکات و ایجاد حس پیش‌بینی از تجربه‌ی دیدن ساعت‌ها استفاده شده است. آنالیز فعالیت مغزی توسط fMRI به منظور کمی‌سازی میزان جلب توجه شرکت‌کنندگان در فرایندهای شناختی تمرکز و توجه انجام شده و با استفاده از ردیابی چشم مشخص شده است که کدام بخش از تبلیغات، توجه مشتری را بیش‌تر متمرکز می‌کند. در این مقاله با توجه به پتانسیل بالای بازاریابی عصب شناختی، استفاده از این روش برای بهبود پیش‌بینی مشتری و افزایش تجربه‌ی حسی و اجتماعی پیشنهاد شده است. در این تحقیق رتبه‌بندی تبلیغات بر اساس میزان

خالی به مدت ۵ ثانیه به نمایش در آمده و سپس فیلم بعدی نمایش داده شده است. فیلم‌ها با توجه به میزان علاقه‌مندی و تمایل مخاطبین به خرید آن‌ها به ترتیب نزولی دسته‌بندی شده‌اند. با انجام رگرسیون نشان داده شد که اندازه‌گیری‌های EEG در نوسانات بتا و گاما اطلاعات منحصر به فردی در مورد اولویت‌های فردی و جمعیتی ارائه داده و می‌توانند به عنوان یک نشان‌گر عصبی برای تکسیب موفقیت تجاری مورد استفاده قرار گیرند. افزایش نوسانات امواج بتا در مشاهده‌ی فیلم‌های تبلیغاتی ترجیح داده شده (اولویت‌دار) توسط کابرن در این تحقیق به شدت مشهود بوده است. نویسندگان افزایش دامنه‌ی نوسانات بتا در اثر تحریک توسط فیلم‌ها را به عنوان انگیزش پاداش و انتقال جنبه‌های پاداشی به حافظه تلقی نموده‌اند. در این حالت می‌توان مشاهده کرد که حافظه‌ی نسبتاً پایدارتری برای فیلم‌های مورد علاقه شکل گرفته است. در مقاله‌ی [۹] پژوهشی با هدف شناسایی مولفه‌های جذابیت کاراکترهای پویانمایی انجام شده که در آن برای ارزیابی کاراکتر جذاب برای کودکان در راستای تهیه‌ی محصولات فرهنگی برای رده‌های سنی مختلف، روش بازاریابی سنتی و عصبی با هم مقایسه شده است. محرک مورد استفاده برای بررسی واکنش مغز کودکان، به صورت مجموعه‌ی تصاویری از کاراکترهای معروف و شناخته شده (۱۹ مورد) بوده و ثبت امواج مغزی هنگام ارائه‌ی محرک‌های مختلف در قالب پتانسیل وابسته به رویداد انجام شده است. در این تحقیق برای بررسی میزان خوشایندی و ناخوشایندی کودکان از هر تصویر، از یک پرسش‌نامه و آزمون تصاویر آدمک استفاده شده و پژوهش عصب شناختی نیز به منظور مقایسه‌ی خودآگاه و ناخودآگاه کودک انجام شده است. تحلیل‌های آماری و ارزیابی خوشایندی/ناخوشایندی تصاویر در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است. نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که میزان خوشایندی گروه‌های سنی مختلف نسبت به تصاویر جنسیت زن و مرد و هم‌چنین تصاویر حیوان و انسان تفاوت معناداری ندارند. اما نتایج تحلیل اثر سن روی عکس‌العمل مغز به تصاویر کاراکترها نشان داد که بین گروه‌های سنی مختلف تفاوت معناداری وجود دارد. هم‌چنین واکنش مغزی آزمودنی‌ها به تصاویر در قالب مولفه‌های ERP ثبت شده و با استخراج و ارزیابی مولفه‌ی p1 (واکنش غیرارادی مغز به محض مواجه شدن با تصاویر دیداری) پردازش شده است. در این پردازش، ویژگی‌های دامنه، زمان نهفته و میانگین مولفه‌ها محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. در نهایت

خاصی مانند کم‌خوابی، استرس و ... نداشتند. پیش از انجام آزمایش، تمام وظایف شرکت‌کنندگان در هنگام ثبت، به صورت دستورات عمل‌های شفاهی برای آن‌ها بیان شده است. از افراد خواسته شده است که در طول آزمایش در وضعیتی راحت روی صندلی مقابل کامپیوتری که تصاویر تحریکی را نمایش می‌دهد، بنشینند. تعداد ۹ تصویر ۴ ثانیه‌ای برای هر فرد پخش شده است. در واقع، تصویر هر سنگ زینتی یک مرتبه و به مدت ۴ ثانیه نشان داده شده است. پس از نمایش تصاویر، یک وقفه‌ی ۵ ثانیه‌ای داده شده و سپس با نمایش یک تصویر به آن‌ها اطلاع داده شده که آماده‌ی تصمیم‌گیری باشند. پس از آن در یک بازه‌ی ۱۰ ثانیه‌ای تمام محرک‌ها در یک تصویر نشان داده شده و از افراد خواسته شده تا سنگ مورد علاقه‌ی خود را که ترجیح می‌دهند در جواهرآلات از آن استفاده شود، انتخاب کنند. فرکانس نمونه‌برداری برابر با ۱۲۸ HZ و بازه‌ی فرکانسی برابر با ۰/۱ تا ۷۰ هرتز بوده است. تعداد ۱۹ کانال EEG دوقطبی با مرجع‌دهی نسبت به گوش‌ها ثبت شده است. سیگنال‌های ثبت شده حاوی یک بازه‌ی تحریکی احساسی ۴۶۰۸ نمونه‌ای (با احتساب فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۸ برای هر تصویر ۴ ثانیه‌ای) و یک فاز تصمیم‌گیری ۱۲۸۰ نمونه‌ای می‌باشند. فرمت سیگنال‌ها BDF بوده و پس از تبدیل به فایل mat. در نرم‌افزار متلب خوانده و ذخیره شده است. تصویری از نحوه‌ی انجام آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) - فرایند ثبت دادگان EEG

۲-۲- ابزارهای پردازشی

در این بخش روش‌های محاسباتی مورد استفاده در پردازش دادگان، معرفی شده و جزئیات پیاده‌سازی روش‌ها روی سیگنال‌های ثبت شده بیان خواهد شد.

۲-۲-۱- آنالیز مولفه‌های مستقل

آنالیز مولفه‌های مستقل یک روش محاسباتی و آماری برای جداسازی مولفه‌های (مستقل) از مجموعه‌ای از سیگنال‌ها/اندازه‌گیری‌ها/متغیرهای چندگانه بوده و از

خوشایندی مصرف‌کنندگان توسط عصبی شناختی با نتایج به دست آمده از پرسش‌نامه انطباق خوبی داشته است [۱۴].

در تحقیق حاضر، یک طرح نورومارکتینگ مورد بررسی قرار گرفته است. برای از بین بردن تاثیر سایر شناخت‌های مغزی (احساس نیاز، استدلال و ...) در تصمیم‌گیری افراد و پرداختن انحصاری به مسأله‌ی دوست‌داشتن/دوست‌نداشتن، از سنگ تزئینی مورد استفاده در جواهرآلات به عنوان کالایی لوکس برای ارزیابی فعالیت مغزی مشتریان و علاقه‌مندان خرید استفاده شده است. لازم به ذکر است که متغیرهایی مانند توجه، احساس و حافظه غالباً به عنوان متغیرهای مستقل در بازاریابی عصبی مورد سنجش قرار می‌گیرند که در این تحقیق برای اجتناب از در هم آمیختگی شناخت‌ها، تنها بخش احساسی و خوشایندی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت انجام این تحقیق، سیگنال‌های EEG چندکاناله از تعدادی شرکت‌کننده در دو فاز تماشای تصاویر سنگ‌ها و فرایند انتخاب ثبت شده است. دادگان توسط ابزارهای غیرخطی مانند آنتروپی تقریبی، پردازش و طبقه‌بندی شده و در نهایت توسط آنالیزهای آماری مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. آزمون پرسش‌نامه‌ای در پایان هر تست انجام شده تا امکان تحلیل رفتاری و مقایسه‌ی نتایج با بخش پردازش سیگنال فراهم شود. بررسی و سنجش ناخودآگاه فرد در خوشایندی/ناخوشایندی تصاویر، با ارزیابی پرسش‌نامه و آنالیز EEG انجام شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان انتخاب‌های خودآگاه و ناخودآگاه نیز مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده است. در ادامه، بخش ۲ به توصیف فرایند آزمایش، ثبت EEG و ابزارهای مختلف پردازش، بخش ۳ به توضیح نحوه‌ی پیاده‌سازی روش پیشنهادی، بخش ۴ به گزارش نتایج پیاده‌سازی و بخش ۵ به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ثبت دادگان

مجموعه‌ی دادگان EEG جهت تجزیه و تحلیل میزان علاقه‌مندی افراد به سنگ‌های زینتی، توسط دستگاه الکتروانسفالوگراف موجود در آزمایشگاه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد قزوین ثبت شده است. ثبت‌های الکتروانسفالوگراف با سیستم الکتروگذاری استاندارد ۲۰-۱۰ روی ۲۴ شرکت‌کننده (۱۲ زن و ۱۲ مرد، با میانگین سنی $22 \pm 2/8$) انجام شده است. هیچ‌کدام از شرکت‌کنندگان سابقه‌ی بیماری خاصی نداشته، تمام آن‌ها راست‌دست بوده و در روز آزمون مشکل

دارا می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان میزان غیرقابل پیش‌بینی بودن نوسانات در سری‌های زمانی مغزی را با تفکیک آن‌ها به بازه‌های زمانی کوچک‌تر (که در این بازه‌ها شبه‌پایدار^۵ تلقی می‌شوند) کمی‌سازی کرد. برای آنتروپی تقریبی تعاریف زیادی وجود دارد اما تعریف کلی آن به صورت زیر است [۱۶، ۱۷].

با در نظر گرفتن اعداد مثبت N و m ($m < N$) و عدد حقیقی و مثبت τ سری زمانی با طول N و بردارهایی با طول m را به صورت روابط زیر در نظر بگیرید ($1 < i < N - m + 1$).

$$\{x_1\} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_N] \quad (۳)$$

$$u_m(i) = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}] \quad (۴)$$

فرض کنید $n_i^m(r)$ بیان‌گر تعداد بردارهای $u_m(j)$ باشد که با معیار فاصله‌ی اقلیدسی (d) نزدیک به بردار $u_m(i)$ هستند (رابطه‌ی ۵).

$$d[u_m(i), u_m(j)] \leq r \quad (۵)$$

آن‌گاه احتمال نزدیک بودن بردار $u_m(j)$ به $u_m(i)$ به صورت زیر خواهد بود.

$$C_i^m(r) = n_i^m(r) / (N - m + 1) \quad (۶)$$

مقدار میانگین $C_i^m(r)$ ‌ها، بیان‌گر احتمال قرارگیری هر دو بردار در فاصله‌ی τ از یک‌دیگر است. در نهایت با تعریف تابع رابطه‌ی (۷) و در نظر گرفتن فاصله‌ی بین دو بردار به صورت بیش‌ترین اختلاف قدر مطلق بین مولفه‌های آن‌ها (رابطه‌ی ۸)، می‌توان آنتروپی تقریبی را به صورت حدی با استفاده از رابطه‌ی (۹) به دست آورد.

$$\varphi^m(r) = \frac{1}{N - m + 1} \sum_{i=1}^{N-m+1} C_i^m(i) \quad (۷)$$

$$d[u_m(i), u_m(j)] = \text{Max}\{|x(i+k) - x(j+k)| : 0 < k < m - 1\} \quad (۸)$$

$$A_p E_m(m, r) = \varphi^m(r) - \varphi^{m+1}(r) \quad (۹)$$

رابطه‌ی (۹) بیان‌گر متوسط لگاریتم طبیعی از این احتمال شرطی است که توالی‌هایی که برای m نقطه داده‌ی متوالی نزدیک به یک‌دیگر باشند، وقتی یک نقطه داده‌ی دیگر

زیرمجموعه‌ی ابزارهای جداسازی کور منابع^۱ می‌باشد. هدف این آنالیز، محلی‌سازی^۲ فعالیت مغزی و هم‌چنین شناسایی و در نهایت حذف مولفه‌هایی است که منشا آن‌ها در خارج از مغز بوده و مسئول ایجاد آرتیفکت‌ها هستند. سیگنال‌های حاصل از این فرایند تجزیه، مستقل بوده و دارای توزیع غیرگوسی هستند. فرض کنید n ترکیب خطی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ از n مولفه‌ی مستقل به صورت رابطه‌ی زیر وجود داشته باشد.

$$x_j = a_{j1}s_1 + a_{j2}s_2 + \dots + a_{jn} \quad (۱)$$

تعداد مولفه‌های مستقل معمولاً برابر با تعداد سیگنال‌های مشاهدات در نظر گرفته می‌شود. این ترکیب را می‌توان به صورت برداری $S = Ax$ در نظر گرفت که در آن A ماتریس ترکیب‌گر بوده و مانند منابع سیگنالی ناشناخته است. هدف این آنالیز تخمین هر دو عنصر (ماتریس تخمین‌گر و منابع مستقل) از روی بردار مشاهدات است. برای این منظور باید ماتریس وزنی را یافت که توسط آن تبدیل خطی متغیرهای مشاهده شده ($S = Ax$)، بر اساس یک معیار از پیش تعیین شده بهینه شود. یک معیار کمی کلاسیک برای غیرگوسی بودن، کورتسیس یا کامپولنت مرتبه‌ی چهار است. معیار دیگر که بیش‌تر در پیاده‌سازی روش ICA مورد توجه است، نگانتروپی^۳ بر پایه‌ی آنتروپی تفاضلی است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$J(y) = H(y_{\text{gauss}}) - H(y) \quad (۲)$$

مقدار این عبارت توسط تابع چگالی طیف توان تخمین زده شده و در نهایت مولفه‌های مستقل در طی فرایند بهینه‌سازی تابع تقریب نگانتروپی، استخراج می‌شوند [۱۵].

۲-۲-۲- آنترپوی تقریبی

آنترپوی ابزاری برای کمی‌سازی میزان بی‌نظمی در یک سیستم است به طوری که هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، پیچیدگی و تصادفی بودن سیگنال بیش‌تر می‌باشد. از آنترپوی غالباً برای اندازه‌گیری میزان پیچیدگی سیگنال‌های غیرایستای بیولوژیکی استفاده می‌شود. آنترپوی تقریبی^۴ شاخص پایداری برای پردازش سری‌های زمانی بیولوژیکی کوتاه و نویزی است. این ابزار قادر به استخراج پیچیدگی و بی‌نظمی سیگنال بوده و نیز توانایی حذف داده‌های پرت به همراه مقاومت در برابر نویز را

^۴ Approximate Entropy

^۵ Quasi Stationary

^۱ Blind Source Separation

^۲ Localization

^۳ Negentropy

صورت می‌گیرد. تابع عضویت مجموعه‌های فازی در این تحقیق تابع بل شکل است که در قالب عبارت زیر بیان می‌شود.

$$\mu_{Ai} = 1 / (1 + (\frac{x - c_i}{a_i})^{2b_i}) \quad (11)$$

در این رابطه، x مقدار ورودی به گره i -ام بوده و مجموعه‌ی $s_1 = \{a_i, b_i, c_i\}$ پارامترهای تابع عضویت هستند. لایه‌ی دوم دارای گره‌های ثابت است. در این لایه، هر گره درجه‌ی فعالیت یک قانون را محاسبه می‌نماید (رابطه‌ی ۱۲).

$$O_i^2 = w_i = \mu_{Ai} \times \mu_{Bi}, \quad i = 1, 2 \quad (12)$$

در این رابطه، μ_{Ai} درجه‌ی عضویت ورودی x در مجموعه‌ی A_i و μ_{Bi} درجه‌ی عضویت y در مجموعه‌ی B_i می‌باشد. لایه‌ی سوم نیز گره‌هایی دارد که قانون نرمالیزه کردن را روی شدت فعالیت‌های به دست آمده از لایه‌ی قبلی اعمال می‌کنند. در این لایه هر گره، نسبت درجه‌ی فعالیت قانون i -ام به مجموع درجه‌ی فعالیت تمام قوانین را محاسبه می‌کند (رابطه‌ی ۱۳).

$$O_i^3 = \bar{w}_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (13)$$

که در آن \bar{w}_i درجه‌ی فعالیت نرمال شده‌ی قانون i -ام است. در لایه‌ی چهارم، مجموعه‌ای از گره‌های تطبیقی، خروجی را به صورت ضرب درجه‌ی فعالیت نرمالیزه شده در یک چندجمله‌ای مرتبه‌ی اول (برای مدل ساگنو مرتبه‌ی اول) محاسبه می‌کنند.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i + q_i + r_i) \quad (14)$$

که در آن $s_2 = \{p_i, q_i, r_i\}$ پارامترهای تالی در قوانین فازی هستند. در نهایت، گره‌های خروجی در لایه‌ی پنجم تمام سیگنال‌های ورودی را جمع کرده و مقدار خروجی نهایی هر گره به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i f_i \quad (15)$$

در ساختار شبکه‌ی عصبی فازی، لایه‌ی ورودی متغیرهای ورودی را به شبکه وارد کرده و لایه‌ی خروجی بیان‌گر کلاس‌هایی است که داده‌ها با استفاده از آن‌ها برای طبقه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که بیان شد، دو لایه‌ی تطبیق‌پذیر در ساختار این شبکه وجود دارد. پارامترهای مقدم (مربوط به توابع

شناسایی شود، هنوز نزدیک به یک‌دیگر باقی می‌مانند. جهت پیاده‌سازی، لگاریتم فراوانی نسبی برای بلوک‌هایی به اندازه‌ی m محاسبه شده و سپس مقدار آنتروپی تقریبی با استفاده از روابط فوق تخمین زده می‌شود. بلوک‌های با آنتروپی تقریبی بالا، دارای بی‌نظمی بیش‌تر (نوسان بیش‌تر) در دنباله هستند.

۲-۲-۳- شبکه‌ی نوروفازی

توانایی تشخیص و تخمین انتخاب‌های مشتریان یکی از اهداف اصلی در تحقیقات بازاریابی عصبی است. یک پیش‌بینی درست، نیازمند استخراج اطلاعات قابل اطمینان مغز و نیز انتخاب یک ابزار طبقه‌بند و پیش‌بین مناسب است. ابزارهای طبقه‌بندی هوشمند مانند شبکه‌ی عصبی، سیستم فازی، سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار^۱ (ANFIS) و دسته‌ی الگوریتم‌های تکاملی، ابزارهای مناسبی برای حل مسائل پیچیده‌ی بازشناسی الگو و یادگیری ماشین به شمار می‌روند. شبکه‌ی عصبی-فازی یک مدل استنتاج فازی در چارچوب شبکه‌های عصبی چندلایه است. ایده‌ی ایجاد سیستم‌های ترکیبی هوشمند عصبی-فازی این است که بتوان پارامترهای سیستم فازی را توسط آموزش با نظارت یک شبکه‌ی عصبی تنظیم کرد. شبکه‌ی ANFIS یک پیاده‌سازی موفق از سیستم عصبی-فازی بر پایه‌ی سیستم فازی نوع ساگنو است که منطبق با اصول سیستم‌های وفقی طراحی شده است. سیستم ترکیبی ANFIS از مزایای یادگیری شبکه‌های عصبی و هم‌چنین قوانین فازی زبانی بر پایه‌ی دانش خیره در فرایند تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. این روش نسبت به سایر روش‌ها از دقت خوبی در طبقه‌بندی سیگنال‌های EEG برخوردار است [۱۵].

ساختار شبکه‌ی ANFIS دارای ۵ لایه با وظایف مختلف می‌باشد. ساختار این شبکه با دو قانون، دو ورودی x و y و یک خروجی f در ستون راست شکل (۲) نشان داده شده است. لایه‌ی اول این شبکه شامل گره‌های ورودی است که همگی تطبیقی بوده و متغیرهای ورودی را بازنمایی می‌کنند. در این لایه با استفاده از تابع عضویت، درجه‌ی عضویت ویژگی‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۱۰).

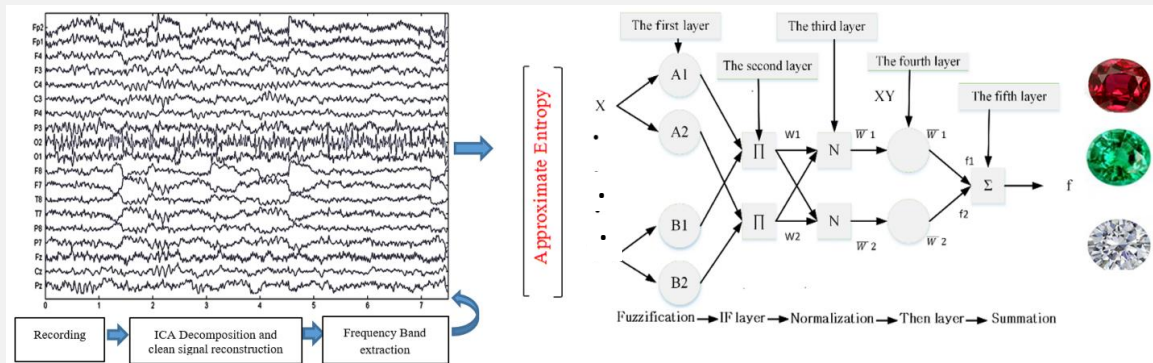
$$O_i^1 = \mu_{Ai}(x) \quad (10)$$

در واقع ویژگی‌های استخراج شده در بخش‌های پیشین، توسط تابعی از پیش تعیین شده به درجات عضویت فازی نگاشت می‌شوند. انتخاب تابع عضویت بر اساس آزمایش توابع متعارف

^۱ Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

انجام شده و یک سیستم خودکار جهت تخمین علایق فرد بر اساس ویژگی‌های سیگنال‌های مغزی وی ایجاد شده است. ورودی‌های این سیستم از سیگنال‌های EEG استخراج شده (شکل ۲ ستون چپ) و خروجی آن کلاسی منطبق بر یکی از سنگ‌ها خواهد بود (شکل ۲ ستون راست). این سیستم، گزینش یکی از سنگ‌ها توسط هر کاربر را آموزش دیده تا بتواند پیش‌بینی درستی از تصمیم‌های مشتریان بعدی داشته باشد.

عضویت در لایه‌ی اول) و پارامترهای تالی (مربوط به چندجمله‌ای در لایه‌ی چهارم) در طول فرایند یادگیری بهینه می‌شوند. لازم به ذکر است که الگوریتم یادگیری برای مدل ANFIS غالباً دارای دو فاز تندترین شیب برای تنظیم پارامترهای مقدم و تخمین حداقل مربعات برای تنظیم پارامترهای تالی در قوانین فازی می‌باشد. در این تحقیق، فرایند بازشناسی الگوها توسط سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار



شکل (۲) - ایجاد ورودی شبکه‌ی عصبی فازی، شماتیک ساختار آن و تعلق خروجی این طبقه‌بند چندکلاسه به یکی از انتخاب‌های کاربر

می‌گویند. برای پی بردن به این نکته که داده‌های موجود در گروه‌های مختلف که بر اساس یک ویژگی دسته‌بندی شده‌اند، دارای یک میانگین مشترک هستند یا خیر، از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده می‌شود. به بیان دیگر می‌توان از این آنالیز برای پی بردن به این نکته که گروه‌ها واقعا در مشخصه‌ی اندازه‌گیری شده با هم تفاوت دارند یا نه، استفاده کرد. به طور کلی این آزمون پراکندگی مقادیر نمونه را مورد بررسی قرار داده و می‌تواند بیان‌گر میزان پراکندگی مشاهدات درون هر گروه و میانگین‌های گروهی باشد. اگر پراکندگی میانگین‌های گروهی بیش‌تر از پراکندگی موجود در مشاهدات هر گروه تغییر کند، می‌توان نتیجه گرفت که میانگین‌های گروه‌های مختلف نسبت به هم تفاوت معناداری دارند. در آنالیز واریانس، نسبت پراکندگی بین گروهی به پراکندگی درون گروهی (تغییرپذیری بین میانگین نمونه‌ها تقسیم بر تغییرپذیری درون نمونه‌ها)، F نامیده می‌شود بزرگ‌تر بودن F به معنای بیش‌تر بودن تفاوت بین گروه‌ها است [۱۹].

۴-۲-۲- آنالیزهای آماری

۴-۲-۲-۱- آزمون t

برای ارزیابی میزان هم‌قواری یا یکسان بودن/نبودن میانگین نمونه با میانگین جامعه در حالتی که انحراف معیار جامعه مجهول باشد، از آزمون t استفاده می‌شود. از آن‌جا که توزیع t در مورد نمونه‌های کوچک ($n < 30$) با استفاده از درجات آزادی t تعدیل می‌شود، استفاده از این آزمون برای نمونه‌های بسیار کوچک نیز امکان‌پذیر است. هم‌چنین آزمون t در مواقعی که خطای استاندارد جامعه (σ) نامعلوم و خطای استاندارد نمونه (s) معلوم باشد، کاربرد زیادی دارد. محاسبه‌ی مقدار t توسط رابطه‌ی زیر انجام می‌شود.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n-1}}} \quad (16)$$

که در آن s خطای استاندارد توزیع نمونه‌ای، \bar{x} میانگین برآورد شده‌ی نمونه‌ای، μ میانگین جامعه و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

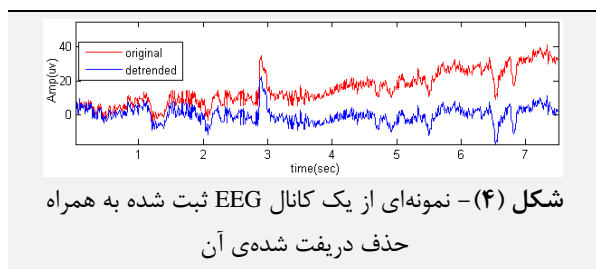
۴-۲-۲-۲- آنالیز واریانس

این آزمون تعمیم یافته‌ی آزمون t بوده و از آن برای ارزیابی یک‌سان بودن/نبودن دو جامعه و یا چند جامعه استفاده می‌شود. در این آزمون، واریانس کل جامعه به عوامل اولیه‌ی آن تجزیه شده و به همین دلیل به آن آزمون آنالیز واریانس (ANOVA)

۳- پیاده‌سازی

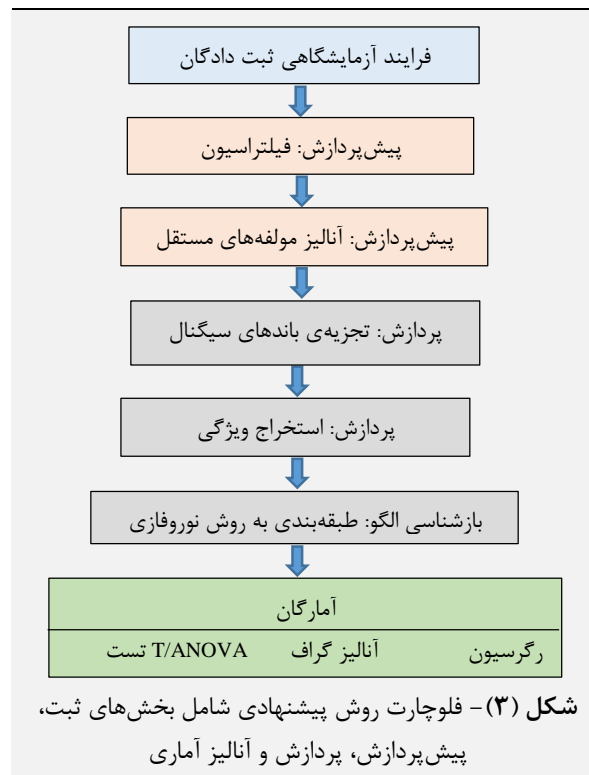
فلوچارت روش پیشنهادی این مقاله در شکل (۳) ارائه شده است. در این بخش، گزارشی از پیاده‌سازی ارائه شده و تحلیلی بر گام‌های مختلف روش پیشنهادی انجام خواهد شد.

خطی یا چندجمله‌ای با درجه‌ی پایین) به داده‌ی اصلی برازش شده و سپس از آن کم شده است. نتایج حاصل از این الگوریتم روی یک برش سیگنالی در شکل (۴) نشان داده شده است.



۲-۳- پردازش ICA

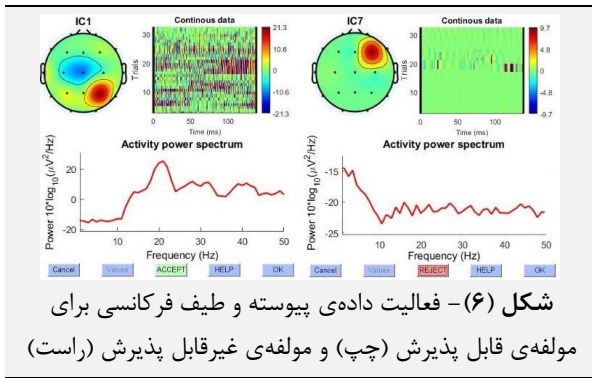
در گام بعدی، سعی شده است تا نویزها و آرتیفکت‌های فیزیولوژیک مانند پلک زدن، EMG، EOG و ... حذف شوند. از آن‌جا که امکان انجام فیلتراسیون برای تک‌تک نویزها و آرتیفکت‌ها وجود ندارد، به یک روش سیستماتیک برای حذف نویز (مانند ICA) نیاز است که بتواند بدون وارد شدن به جزئیات و ماهیت هر نویز، اثر تداخلات را از سیگنال خارج کند. لازم به ذکر است که تداخل سایر سیگنال‌های فیزیولوژیک روی سیگنال EEG به علت هم‌پوشانی طیفی سیگنال‌ها غالباً چالش برانگیز بوده و امکان حذف آن‌ها با روش‌های ساده‌ای چون اعمال فیلترهای فرکانسی، میانگین‌گیری و کم کردن اثر ظاهری نویز، وجود ندارد. از روش آنالیز مولفه‌های مستقل برای شناسایی و استخراج مولفه‌های مستقل در سیگنال‌های چندکاناله استفاده می‌شود که به کمک آن می‌توان با شناسایی و حذف مولفه‌ی غیرمغزی، سیگنال‌ها را هرس کرد. جهت پیاده‌سازی این روش از الگوریتم FastICA/Infomax موجود در نرم‌افزار EEGLAB استفاده شده است [۲۰، ۲۱]. پس از انجام ICA، ۱۹ مولفه (برابر با تعداد کانال‌ها) ایجاد شده است. در این فرایند مولفه‌هایی که منبع مستقل دارند شناسایی شده و آن‌هایی که منابع نورونی دارند تایید و حفظ می‌شوند. نمونه‌هایی از انجام پردازش ICA به صورت نگاشت مکانی مولفه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. آنالیز چشمی مولفه‌های به دست آمده، نشان دهنده‌ی وجود مولفه‌های مربوط به حرکات چشم (مولفه‌های ۷ و ۱۰ در شکل ۵-الف و مولفه‌ی ۵ در شکل ۵-ب)، مولفه‌های حرکتی مربوط به EMG (مولفه‌های ۵ و ۱۵ در شکل ۵-الف و مولفه‌های ۷ و ۹ در شکل ۵-ب) و نیز مولفه‌های فعالیتی مغزی-نورونی (مولفه‌های ۹ و ۱۳ در شکل ۵-الف و مولفه‌های ۱۱ و ۱۹ در شکل ۵-ب)



۳-۱- پیش‌پردازش

سیگنال‌های EEG مانند سایر سیگنال‌های حیاتی تحت تاثیر عوامل مزاحمی چون نویز و آرتیفکت قرار دارند. پردازش دقیق و قابل اعتماد سیگنال EEG پیش از هر چیز نیازمند حذف این اثرات مخرب است. مرحله‌ی پیش‌پردازش سیگنال EEG غالباً شامل الگوریتم‌های مختلف حذف نویز و ترکیب آن‌ها می‌باشد. از آن‌جا که باند فرکانسی سیگنال‌های مغزی محدود است (دامنه‌ی انرژی این سیگنال در بازه‌ی فرکانسی بیش از ۳۰ تا ۴۰ هرتز به شدت کاهش می‌یابد)، به منظور حذف نویزهای احتمالی مانند برق شهر، آفست و ...، ابتدا از یک فیلتر میان‌گذر باترورت مرتبه‌ی شش با باند فرکانسی ۰/۵ تا ۴۵ هرتز استفاده شده است. هم‌چنین، نویز مرجع میانگین مشترک^۱ (CAR) نیز از سیگنال حذف شده است. برای حذف نویز مشترک از روی کانال‌های ثبت، مقدار میانگین تمام کانال‌ها محاسبه شده و از مقدار دامنه‌ی هر سیگنال کم شده است. علاوه بر موارد فوق، دررفت سیگنال از خط پایه نیز که غالباً در واسط الکتروود- پوست و تحت تاثیر عواملی چون تغییر دما و بایاس در الکتروودها و تقویت کننده‌ها ایجاد می‌شود، باید حذف شود. اثر این نویز روی سیگنال در بلندمدت به صورت یک افزایش صعودی در دامنه است. برای حذف این نویز از الگوریتم detrend استفاده شده، به طوری که در ابتدا تابعی با تغییرات آهسته (مانند شیب

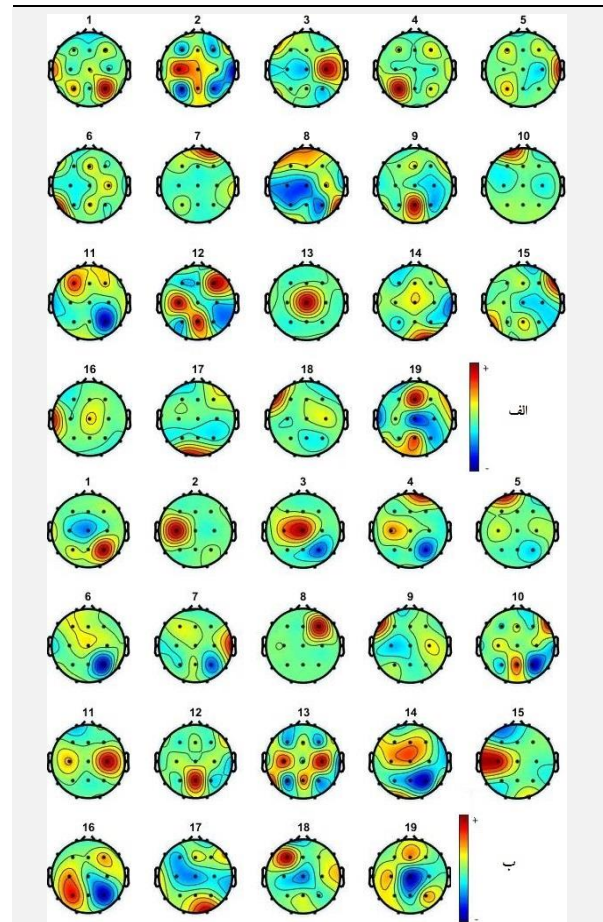
^۱ Common Average Referencing



کاربرد دوم ICA، شناسایی نواحی مغزی (یا نیم‌کره) است که فعالیت بیش‌تری در فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب یک کالا از میان چندین آیت‌م دارند. برای این منظور، نگاشت‌های مغزی حاصل از فعالیت مولفه‌های استخراجی، محاسبه و رسم شده است. این نگاشت، انرژی مولفه‌ها را در محل‌های مختلف ثبت نشان داده که می‌تواند حاوی اطلاعاتی از میزان فعال شدن مناطق عمل‌کردی مغز حین تحریک توسط تصاویر انتخاب شده و همچنین در بازه‌ی تصمیم‌گیری باشد. برای هر ۲۰ شرکت کننده در این آزمون، بازه‌های سیگنالی در هنگام مشاهده‌ی تصاویر تحریکی (شامل ۹ بازه‌ی احساسی و ۱ بازه‌ی تصمیم‌گیری) تفکیک شده و برای هر یک ماتریس نگاشت مغزی به دست آمده است.

با مشخص شدن این که متوسط دامنه‌ی فعالیت در کدام یک از مناطق ساختاری-عمل‌کردی مغز (اکسیپیتال: الکترودهای O1 و O2، فرونتال: الکترودهای Fp1، Fp2، Fz، F4 و F3، لیمبیک: الکترودهای C3، Cz، C4 و T8) بیش‌تر است، می‌توان فعالیت مغزی در فرایند شناختی-احساسی مورد نظر را مکان‌یابی کرد. انرژی نرمالیزه شده برای تمام کانال‌های ثبت در فرایندهای تحریک و تصمیم‌گیری در شکل (۷) ارائه شده است. برای کمی‌سازی بهتر فعالیت منطقه‌ها، نگاشت‌های مغزی حاصل از پردازش ICA در فازهای تحریکی و تصمیم‌گیری به طور جداگانه میانگین‌گیری شده و درصد فعالیت هر یک از مناطق مغز محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که در فاز تماشای تصاویر محرک (شکل ۷-الف)، سه ناحیه‌ی فرونتال، لیمبیک و اکسیپیتال بیش از سایر نواحی مغز فعال شده‌اند. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول (۱) ارائه شده است که نشان می‌دهد فعالیت ناحیه‌ی اکسیپیتال بیش‌تر از ناحیه‌ی فرونتال و فعالیت ناحیه‌ی فرونتال بیش‌تر از ناحیه‌ی لیمبیک است. این مساله می‌تواند ناشی از فعالیت مناطق بینایی اولیه و ثانویه در کورتکس اکسیپیتال در فاز تحریک (مشاهده‌ی تصاویر) باشد. از آن‌جا که نواحی فرونتال و لیمبیک مسئول واکنش‌های

می‌باشد. به این ترتیب می‌توان مولفه‌های مربوط به حرکات چشم و منابع آرتیفکت‌های حرکتی و قلبی را شناسایی کرده و آن‌ها را در فرایند بازسازی سیگنال حذف نمود. همچنین با رسم فعالیت سیگنال در طول زمان برای هر مولفه، می‌توان منظم یا نامنظم بودن فعالیت داده‌ای پیوسته را ارزیابی کرد. نمونه‌ای از یک مولفه که داده‌ی پیوسته داشته و طیف فرکانسی آن متناظر با طیف استاندارد سیگنال EEG است در شکل (۶-الف) و یک مولفه با فعالیت ناپیوسته و طیف فرکانسی غیرمشابه با EEG، در شکل (۶-ب) نشان داده شده است. در شناسایی منابع نورونی این نکته حایز اهمیت است که فعالیت مولفه‌های نورونی معمولاً در یک منطقه متمرکز بوده و به اصطلاح دارای hotspot است. با استفاده از این اصول، منابع غیرنورونی (غیرمغزی) توسط مرور بصری و آنالیز طیفی، شناسایی و حذف شده است. سپس فرایند بازسازی سیگنال با مولفه‌های باقی‌مانده به روش معکوس ICA انجام شده، سیگنال‌های EEG عاری از نویز و آرتیفکت به دست آمده و در گام‌های پردازشی بعدی از آن‌ها استفاده شده است.



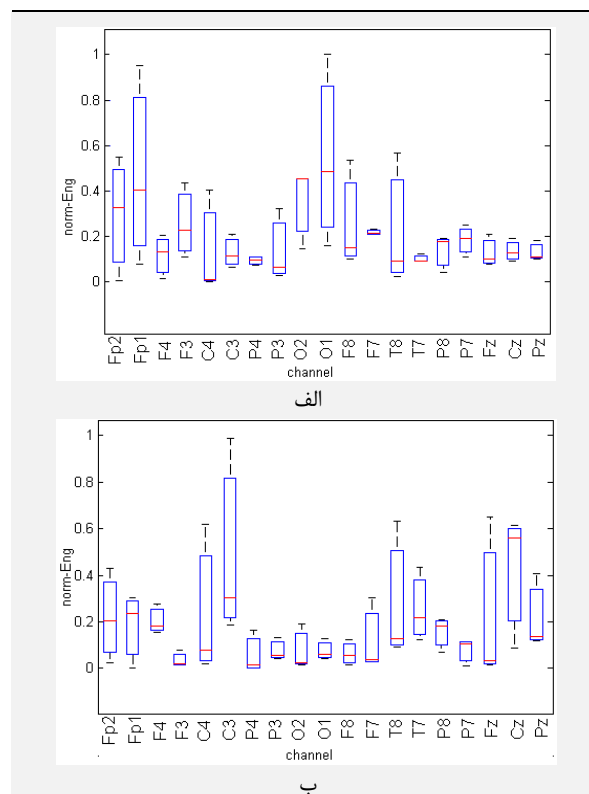
شکل (۷) - مولفه‌های مستقل حاصل از محاسبه‌ی ICA برای دو شرکت‌کننده

فعالیت‌های مغزی در هنگام وقوع شناخت‌ها را تخمین بزند. جهت پیاده‌سازی، ابتدا مقدار آنتروپی تقریبی از کانال‌های پوشش دهنده‌ی نواحی فرونتال، لیمبیک و اکسیپیتال تخمین زده شده است. به این ترتیب برای هر شخص در کل بازه‌ی تحریک، یک ماتریس 11×9 به دست آمده که بیان‌گر آنتروپی محاسبه شده برای ۹ بازه‌ی تحریکی از ۱۱ کانال است.

از آن‌جا که هدف مرحله‌ی طبقه‌بندی یافتن ویژگی‌های تمایزگر بین قطعات سیگنالی در حالت مشاهده‌ی تحریک‌گرهای احساسی و سپس استفاده از آن‌ها در تفکیک و پیش‌بینی تصمیم‌ها و انتخاب‌های افراد است، باید تفاوتی بین تحریک‌گرهای خوشایند و ناخوشایند در نظر گرفته شود. با توجه به انتخاب‌های افراد در فاز تصمیم‌گیری، زمرد و الماس از بین ۹ سنگ معرفی شده بیش‌تر مورد پسند بودند. از این رو زمرد و الماس به عنوان تحریک‌گرهای (کلاس‌های) خوشایند انتخاب شده و سایر سنگ‌ها به عنوان کلاس ناخوشایند در نظر گرفته شده‌اند. به این ترتیب یک طبقه‌بندی سه‌کلاسه به صورت انتخاب سنگ زمرد، الماس یا سایر سنگ‌ها پیاده‌سازی شده است. دلیل جدا نکردن سایر محرک‌ها از هم، کم بودن فراوانی انتخاب آن‌ها توسط سوژه‌ها بوده که داده‌ی کافی برای طبقه‌بندی را فراهم نمی‌کرد.

یک شبکه‌ی نوروفازی از نوع ساگنو برای طبقه‌بندی سیگنال‌های EEG طراحی شده که شامل دو تابع عضویت برای هر ورودی می‌باشد. برای هر ۲۴ شرکت‌کننده در ۹ بازه‌ی تحریکی، ۱۱ ویژگی آنتروپی از کانال‌های منتخب استخراج شده و به شبکه‌ی ANFIS وارد شده است. بازه‌ی بین کمینه و بیشینه‌ی آنتروپی هر کانال با استفاده از تابع عضویت منتخب، فازی شده و سپس قوانین اگر-آن‌گاه فازی جهت بیان ارتباط مقادیر زبانی و کلاس‌های طبقه‌بندی در قالب استاندارد نوشته شده است. نمونه‌ای از قانون فازی موجود در سیستم طراحی شده در شکل (۸) ارائه شده است. با توجه به تعداد زیاد قوانین (برابر با تعداد توابع عضویت به توان تعداد ویژگی‌ها)، به منظور تسریع فرایند یادگیری و اجتناب از گیر افتادن در مینیمم‌های محلی تابع بهینه‌سازی در هنگام یادگیری، از یک الگوریتم هرس کردن استفاده شده است. این الگوریتم بر اساس سهم متوسط قوانین عمل کرده [۲۲] و قادر به حذف قوانین با درجه‌ی اهمیت کم (قوانین نامرتب) می‌باشد. مزیت اصلی این روش این است که حذف قوانین نامرتب باعث تخریب یا کاهش عمل‌کرد طبقه‌بندی نشده و هم‌چنین قوانین باقی‌مانده بعد از فرایند هرس کردن به قوانین اگر-آن‌گاه فرد خبره بسیار شبیه

احساسی هستند، فعالیت بیش‌تر این دو ناحیه نیز توجیه‌پذیر است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که نیم‌کره‌ی چپ بیش از نیم‌کره‌ی راست فعالیت داشته است. از سوی دیگر، در فاز انتخاب و تصمیم‌گیری، ناحیه‌ی لیمبیک (مسئول تصمیم‌گیری در مغز) فعالیت بیش‌تری نسبت به سایر نواحی داشته است.



شکل (۷) - فعالیت در قالب انرژی نرمال شده برای هر الکتروود، (الف) فاز تحریک، (ب) فاز تصمیم‌گیری

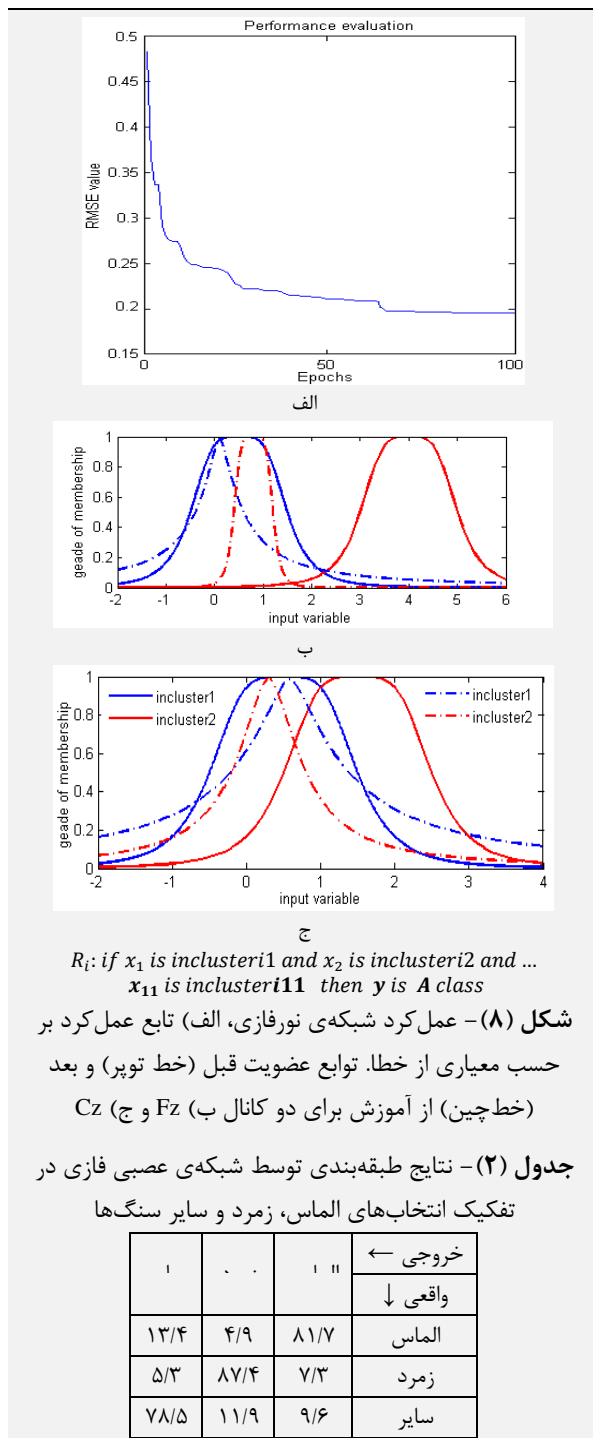
جدول (۱) - فعالیت نواحی مغز در فاز تحریک و تصمیم‌گیری

ناحیه	جنسیت	فاز تحریک	فاز تصمیم‌گیری
اکسیپیتال	زن	٪۴۴	٪۲۸
لیمبیک	۱۹	٪۱۹	٪۳۹
فرونتال	زن	٪۳۷	٪۳۳
اکسیپیتال	مرد	٪۴۶	٪۱۶
لیمبیک	مرد	٪۱۲	٪۴۳
فرونتال	مرد	٪۴۲	٪۴۱

۳-۳- استخراج ویژگی و طبقه‌بندی سیگنال‌ها

در این بخش، پردازش سیگنال‌های حاصل از آنالیز ICA در فرایند شناختی (انتخاب یک سنگ زینتی جهت استفاده در جواهرآلات) مورد بررسی قرار گرفته است. برای کمی‌سازی و بیان مشخصات سیگنال، ویژگی آنتروپی تقریبی استخراج شده است. این ویژگی غیرخطی می‌تواند نوسانات و تغییرات

مشابه استخراج شده، سپس ویژگی‌های استخراج شده از هر باند به طور مجزا طبقه‌بندی شده و مشاهده شد که طبقه‌بندی در کل بازه‌ی فرکانسی نتایج بهتری نسبت به زیرباندهای فرکانسی حاصل کرده است.



۴-۳- تحلیل آماری

جهت اعتبارسنجی نتایج این تحقیق، داده‌ها به کمک ابزارهای استاندارد از آنالیز آماری تجزیه و تحلیل شده‌اند. اطلاعات لازم

خواهد بود. در این روش، ارتباط هر قانون به ورودی با سهم آن قانون (ضرب وزن قانون در شدت آن) اندازه‌گیری می‌شود. در واقع برای هر نورون خروجی در سیستم نوروفازی، سهم متوسط هر قانون محاسبه شده و قوانینی که مقدار نرمالیزه‌ی آن‌ها کم‌تر از آستانه‌ی انتخاب شده (۰.۷٪) باشد، هرس می‌شوند. سپس مقدار وزن برای قوانین هرس شده در آن گره برابر با صفر قرار داده می‌شود. به کمک این روش ۴۸٪ از کل قوانین حذف شده و در نهایت از قوانین باقی‌مانده برای آموزش سیستم و تنظیم وزن‌ها استفاده شده است. جهت آموزش شبکه‌ی نوروفازی طراحی شده، از روش اعتبارسنجی متقابل دوبرابری استفاده شده است که در آن کل داده، به صورت تصادفی به دو بخش آموزش و تست تقسیم می‌شود. در این روش از هر نمونه‌ی داده هم برای آموزش و هم برای اعتبارسنجی استفاده می‌شود. به این ترتیب که شبکه ابتدا با مجموعه‌ی داده‌ی اول آموزش دیده و با مجموعه‌ی دوم تست می‌شود و سپس با مجموعه‌ی دوم آموزش دیده و با مجموعه‌ی اول تست می‌شود. طبقه‌بندی توسط شبکه‌ی ANFIS با الگوریتم یادگیری هیبرید، ۱۰۰ بار آموزش داده شده است. منحنی عمل‌کرد یادگیری در قالب مجذور میانگین مربعی خطا در شکل (۸-الف) ارائه شده که نشان دهنده‌ی رفتار هم‌گرا و قابل قبول سیستم در ۱۰۰ تکرار است. سپس ارزیابی یادگیری سیستم نوروفازی تحت تاثیر تغییرات ورودی‌های آن بررسی شده که یک روش سراسر است و مستقیم برای ارزیابی فاز آموزش است. ارزیابی توابع عضویت برای تمام ورودی‌ها قبل و بعد از آموزش نشان می‌دهد که توابع عضویت در هنگام یادگیری، تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند که این مساله مناسب بودن ویژگی‌های ورودی را تایید می‌کند. توابع عضویت برای دو ورودی (ویژگی آنتروپی برای دو کانال Fz و Cz) در شکل‌های (۸-ب و ج) نشان داده شده است.

نتایج طبقه‌بندی سیگنال‌های EEG توسط ماتریس درهم‌ریختگی در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج طبقه‌بندی به کمک ابزار غیرخطی، قابل آموزش و قابل تعمیم شبکه‌ی نوروفازی، مشاهده می‌شود که در مجموع انتخاب زمرد دارای بیش‌ترین دقت را و انتخاب گروه سایر سنگ‌ها (دسته‌ی محرک‌های ناخوشایند) دارای پایین‌ترین دقت می‌باشد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که تشخیص‌های نادرست بیش‌تر بین انتخاب سایر سنگ‌ها و الماس اتفاق افتاده است. لازم به ذکر است که برای ارزیابی بهتر، اطمینان از صحت عمل‌کرد و دست‌یابی به بالاترین دقت طبقه‌بندی، ویژگی آنتروپی تقریبی از زیرباندهای فرکانسی سیگنال (آلفا، بتا، دلتا و تتا) در فرآیندی

خوشایندی تصاویر با بررسی ناخودآگاه (از طریق ارزیابی پرسش‌نامه و آنالیز EEG) و با بررسی خودآگاه (از طریق ارزیابی پرسش‌نامه‌ی خودآگاه) انجام شده است.

در جدول (۳) میانگین به عنوان مهم‌ترین شاخص مرکزی و واریانس (چگونگی توزیع مقادیر یک متغیر تصادفی حول میانگین آن) به عنوان ملاک تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. از آنجا که مقدار واریانس نرمال و مثبت است، میانگین به دست آمده قابل قبول می‌باشد.

۳-۴-۱- آنالیز ناخودآگاه

نمودار میله‌ای مربوط به انتخاب افراد بر اساس ناخودآگاه (ارزیابی هم‌زمان پرسش‌نامه و خروجی طبقه‌بندی کننده‌ی EEG) با تفکیک جنسیت و به صورت تعداد فراوانی در شکل (۹) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سنگ زمره بر تکرارترین انتخاب مردان بوده که نسبت به سنگ‌های توپال، مروارید و فیروزه که تقریباً در یک سطح قرار دارند، درصد انتخاب بیش‌تری داشته است. در انتخاب‌های زنان، سنگ الماس درصد فراوانی بیش‌تری از زمره، ترمالین، یاقوت و زبرجد داشته است.

در مرحله‌ی بعد، آزمون t روی ناخودآگاه هم برای متغیر جنسیت و هم برای متغیر انتخابی (سنگ تزئینی) انجام شده است. هدف از انجام تست برای متغیر جنسیت، بررسی ارتباط موجود میان خوشایندی یک فرد نسبت به سنگ‌ها و جنسیت وی است. از طرف دیگر، انجام آنالیز آماری برای متغیر مستقل دوم (متغیر محرک یا سنگ) معناداری تفاوت در انتخاب یکی از محرک‌ها توسط کاربرها را ارزیابی می‌کند. از این رو، آزمون t برای مقایسه‌ی هر دو متغیر با توزیع نرمال به کار رفته است. نتایج خروجی آزمون در جدول آمار نمونه داده‌ها^۲ (جدول ۴) ارائه شده است. مقدار t در این جدول برای ارزیابی الگوی آزمون و بررسی مناسب بودن فرضیه‌ی صفر، سنجیده شده است. عدد t در جنسیت برابر با ۹/۹۵۰ بوده که بیش‌تر از عدد حد پایین (۱/۶۸۲) و حد بالا (۱/۸۳۱۸) است، بنابراین فرضیه‌ی آزمون در معناداری تفاوت میانگین جنسیت ۱۰۰٪ مورد قبول است. از سوی دیگر، مقدار t برای محرک (در آزمون ناخودآگاه) برابر با ۵/۹۹۱ بوده که بیش‌تر از فاصله‌ی اطمینان از ۹۵٪ حد پایین و کم‌تر از فاصله‌ی اطمینان از ۹۵٪ حد بالا است، بنابراین فرضیه‌ی وجود تفاوت معنادار در انتخاب سنگ‌ها با ۹۵٪ اطمینان از حد پایین مورد قبول است.

برای این آنالیزها توسط پرسش‌نامه فراهم شده و برای ایجاد تفاوت در خودآگاه و ناخودآگاه افراد، از دو پرسش‌نامه استفاده شده است. در پرسش‌نامه‌ی اول، تصاویر محرک‌ها بدون هیچ اطلاعاتی از نوع، ارزش و نام سنگ ارائه شده و متعاقب آن انتخاب خوشایندی/ناخوشایندی احساسی انجام شده است. در پرسش‌نامه‌ی دوم (مربوط به خودآگاه)، در زیر تصویر هر سنگ، اسم و ارزش آن مشخص شده و از کاربران خواسته شده تا بر اساس آگاهی نسبت به سنگ‌ها، انتخاب خود را انجام دهند.

جامعه‌ی آماری این تحقیق شامل ۲۴ نمونه با میانگین سنی ۲۲/۶ است که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. ارزیابی توزیع متغیرها نیز حاکی از وجود توزیع نرمال برای داده‌ها است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آمار توصیفی (میانگین و انحراف معیار) و آزمون استنباطی (آزمون t و آزمون آنالیز واریانس^۱) استفاده شده است. تمام آزمون‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به جامعه‌ی آماری تعمیم داده شده است. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS عددگذاری شده، به سیستم وارد شده (عدد ۱ برای زن‌ها و ۲ برای مرد‌ها، عدد ۱ برای موافق با محرک و ۲ برای مخالف با محرک) و سپس تحلیل آماری فراوانی ناخودآگاه محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. اطلاعات این جدول شامل میانگین، واریانس و فراوانی هر طبقه است.

جدول (۳) - تحلیل آماری فراوانی ناخودآگاه

سوژه‌ی شخص	سوژه‌ی آزمایش		
۲۴	۹	داده‌ی معتبر	
۰	۰	داده‌ی ناقص	
۱/۵	۴/۹۱۶۷	میانگین	
۱/۵	۹	میانه	
۱	۷	مد	
۰/۵۲۲۲۳	۲/۸۴۳۱	انحراف معیار	
۰/۲۷۳	۳/۰۸۳	واریانس	
۱	۲/۲۵	۲۵	صدک
۱/۵	۶	۵۰	
۲	۷	۷۵	

پس از انجام تست آزمایشگاهی، تمام شرکت‌کنندگان پرسش‌نامه‌ی را تکمیل کرده و در آن به سوالاتی در خصوص خوشایندی محصول، انتخاب و اولویت دادن به سنگ‌ها پاسخ داده‌اند. این اطلاعات برای انجام آمارگان استنباطی به کار رفته که در این تحقیق در دو بخش جداگانه‌ی سنجش میزان

^۲ One-Sample Test

^۱ ANOVA

است. با استفاده از مقادیر ضرایب شیب و عرض از مبدا (جدول ۶)، معادله‌ی خط مربوط به متغیرهای جنسیت و سنگ مورد علاقه، به صورت زیر به دست آمده است.

$$y = -0.006x + 1.528 \quad (۱۷)$$

در این رابطه x بیان‌گر متغیر مستقل (جنسیت) و y بیان‌گر متغیر وابسته (سنگ مورد انتخاب) است. اگر شیب این معادله مثبت باشد، رابطه‌ی این دو متغیر مستقیم بوده و اگر منفی باشد، رابطه‌ی آن‌ها معکوس است. هم‌چنین اگر مقدار شیب نزدیک به ۱ یا -۱ باشد، ارتباط بین متغیرها قوی بوده و اگر نزدیک به صفر باشد، ارتباط آن‌ها ضعیف است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه‌ی متغیرها در این‌جا معکوس و ضعیف بوده که بیان‌گر عدم وابستگی متغیرهای جنسیت و سنگ با سطح معناداری ۹۵٪ است.

جدول (۵) - آنالیز واریانس یک‌طرفه روی اطلاعات ناخودآگاه

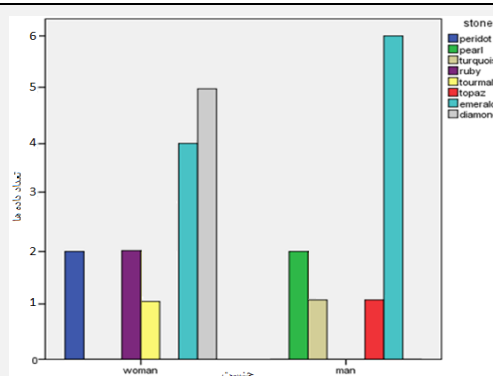
مجموع	درون گروه	بین گروه‌ها	
۳/۰۰۰	۰/۷۵۰	۲/۲۵۰	مجموع ستون‌ها
۱۱	۴	۷	درجه‌ی آزادی
	۰/۱۸۸	۰/۳۲۱	میانگین ستون‌ها
		۱/۷۱۴	F
		۰/۳۱۵	سطح معناداری

جدول (۶) - ضریب رگرسیون ناخودآگاه

سنگ	جنسیت	
-۰/۰۰۶	۱/۵۲۸	استاندارد ضرایب B
۰/۰۵۸	۰/۳۲۶	استاندارد ضرایب خطا (std)
-۰/۰۳۱		استاندارد ضرایب (Beta)
-۰/۰۹۷	۴/۶۸۲	مقدار t
۰/۰۹۵	۰/۰۰۱	سطح معناداری

۳-۴-۲- آنالیز خودآگاه

در این تحقیق علاوه بر بررسی ناخودآگاه با پردازش سیگنال و طبقه‌بندی از یک سو و پرسش‌نامه و آنالیز آماری از سوی دیگر، رفتار خودآگاه فرد در فرایند شناختی مورد نظر نیز بررسی و تحلیل شده است. هدف از انجام این ارزیابی، بررسی وجود تشابه و یا تفاوت معنادار میان انتخاب‌های فرد در حالت آگاهی و عدم آگاهی می‌باشد. لازم به ذکر است که پرسش‌نامه‌ی مربوط به خودآگاه حاوی اطلاعاتی از کالاها برای کمک به انتخاب شرکت‌کنندگان است. داده‌های این آزمون مانند حالت قبل وارد نرم‌افزار شده و نمودار خودآگاه در شکل (۱۰) ارائه شده است.



شکل (۹) - نمودار ناخودآگاه، آبی تیره: زبرجد، سبز: مروارید، قهوه‌ای: فیروزه، بنفش: یاقوت، زرد: تورمالین، قرمز: توپال، آبی روشن: زمرد، طوسی: الماس)

جدول (۴) - آزمون t روی اطلاعات به دست آمده از ناخودآگاه

سنگ	جنسیت	
۵/۹۹۱	۹/۹۵۰	مقدار t
۱۱	۱۱	درجه‌ی آزادی
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	Sig (2-Tailed)
۴/۹۱۶	۱/۵۰۰	اختلاف میانگین
۳/۱۱۰۲	۱/۱۶۸۲	فاصله‌ی اطمینان از ۹۵٪ حد پایین
۶/۷۲۳۱	۱/۸۳۱۸	فاصله‌ی اطمینان از ۹۵٪ حد بالا

در فاز دوم، آنالیز واریانس برای بررسی آماری ناخودآگاه فرد مورد بررسی قرار گرفته است. از این آزمون برای بررسی وجود تفاوت معنادار در مدل‌های رگرسیونی (مقایسه‌ی ارزش‌ها در مدل‌های مختلف)، تعیین ضرایب در معادلات رگرسیونی مختلف و یا ارزیابی برابری میانگین‌ها استفاده می‌شود. هدف از انجام این آزمون در تحقیق حاضر، بررسی توانایی مدل رگرسیون در ارائه‌ی یک پیش‌بینی معنادار و قابل اطمینان از تغییرات متغیر وابسته است. نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس در جدول (۵) ارائه شده است. برای بررسی معناداری آزمون باید به بخش سطح معناداری (p-value) در جدول (۵) توجه کرد. این مقدار بیان‌گر میزان خطای آزمون در رد فرضیه‌ی صفر است. با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که مقدار سیگما بالاتر از ۰/۰۵ بوده و از این رو می‌توان نتیجه گرفت که فرضیه‌ی این مقاله مبنی بر معناداری و قابل اطمینان بودن آزمون و صحت میانگین و واریانس آن، قابل قبول است. البته به دلیل پراکندگی داده‌ها، مقدار سیگما نزدیک به ۰/۰۵ بوده که با توجه به فراوانی داده‌های جامعه‌ی مورد بررسی، نتیجه‌ی دور از انتظاری به شمار نمی‌رود.

سپس، آزمون رگرسیون برای آنالیز داده‌های ناخودآگاه در نرم‌افزار SPSS انجام شده و نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده

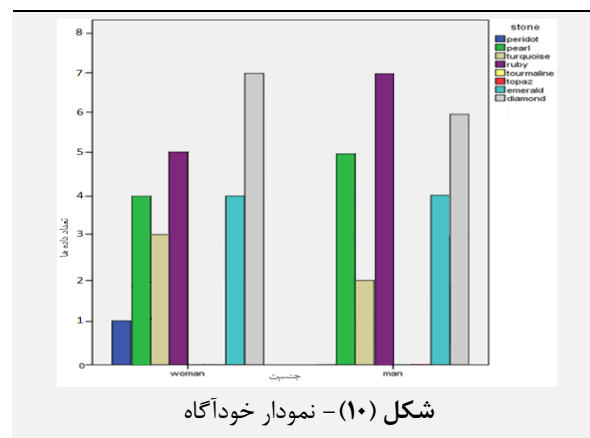
گرفته شده برای آموزش (تفکیک طبقه‌بندی بروی کالا، افراد و مناطق مختلف مغزی)، از دقت قابل قبولی برخوردار نمی‌باشد. مقایسه‌ی بعدی با مقاله‌ی [۲۴] انجام شده که هدف آن یافتن فرکانس‌ها و کانال‌هایی از EEG بوده که بتواند دوست داشتن/نداشتن کالا توسط مشتریان را به صورت بهتری بازنمایی کند. در این مقاله، با تقسیم بازه‌ی فرکانسی به دو بازه‌ی فرکانس پایین (۴-۱۹ هرتز) و فرکانس بالا (۲۰-۴۰ هرتز)، محاسبه‌ی مقدار چگالی طیف توان نرمالیزه شده و نیز استفاده از تست‌ها و ارزیابی‌های آماری نشان داده شده است که در فرکانس پایین، نواحی فرونتال و تمپورال راست و در فرکانس بالا، نواحی لیمبیک و اکسیپیتال فعالیت بیش‌تری داشته‌اند. این یافته با نتایج نگاشت مکانی به دست آمده در تحقیق حاضر انطباق خوبی داشته است.

در نهایت، یافته‌های آماری تحقیق حاضر در مورد تفاوت موجود میان خودآگاه و ناخودآگاه در مساله‌ی دوست داشتن/نداشتن با نتایج مقاله‌ی [۹] مقایسه شده است. در مقاله‌ی [۹] تفاوت معناداری بین مخاطب‌شناسی بر مبنای خوداظهاری و مخاطب‌شناسی عصبی بر مبنای عمل‌کرد مغز کودکان در مشاهده‌ی کاراکترهای جذاب پویانمایی، گزارش شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که مطالعه‌ی رفتار و واکنش‌های ناخودآگاه مخاطبان در مواجهه با یک متن رسانه‌ای می‌تواند اهمیت بسیار بیش‌تری از اظهارات مخاطبان داشته باشد. رد شدن فرضیه‌ی H_0 آزمون آماری مقاله‌ی حاضر (رد عدم وجود تفاوت معنادار بین خودآگاه و ناخودآگاه) با یافته‌های آماری مقاله‌ی [۹] مطابقت دارد. در واقع، ناخودآگاه افراد مورد آزمون در مقاله‌ی حاضر نیز دانش بیش‌تری از خوداظهاری آن‌ها داشته که در بخش آنالیز آماری به این مورد اشاره شده است. خلاصه‌ای از مقایسه‌ی یافته‌های روش پیشنهادی مقاله‌ی حاضر و برخی مقالات معتبر در این حوزه، در جدول (۷) ارائه شده است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله بررسی ناخودآگاه افراد در انتخاب کالایی خاص و غیرمصرفی است. در این تحقیق یک آزمون شناختی طراحی شده و سعی شده است تا در یک فرایند کنترل شده، پدیده‌ی دوست داشتن و خوشایندی به طور انحصاری شناخته، ردگیری و ارزیابی شود. برای این منظور از EEG تعدادی شرکت‌کننده در هنگام تحریک احساسی و تصمیم‌گیری ثبت شده است. پردازش‌های مختلفی در سه گروه کلی نگاشت مکانی، طبقه‌بندی و پیش‌بینی و آنالیز آماری انجام شده تا

جهت ارزیابی تفاوت تصمیم‌گیری در حالت‌های خودآگاه و ناخودآگاه، انتخاب‌های افراد در خودآگاه و ناخودآگاه در سطح معناداری $p < 0.001$ و $p < 0.005$ توسط آنالیز واریانس مورد مقایسه قرار گرفته که در هر دو حالت فرضیه‌ی H_0 (عدم وجود تفاوت معنادار) رد شده است.



در پایان این بخش، نتایج به دست آمده از این تحقیق با تحقیقات مشابه مقایسه شده است. از آن‌جا که فرایند کامل پردازشی و آماری ارائه شده در این تحقیق تا کنون در هیچ مقاله‌ای مورد استفاده قرار نگرفته است، نتایج بخش‌های مختلف به صورت جداگانه مقایسه و ارزیابی شده است. در ضمن باید توجه داشت که نوع کالای مورد بررسی در تحقیقات مختلف، متفاوت بوده و این مساله باید در انجام مقایسه در نظر گرفته شود. در مقاله‌ی [۲۳] مدلی برای پیش‌بینی انتخاب مشتریان در قالب دوست داشتن/نداشتن با آنالیز سیگنال EEG ارائه شده و در آن کالاهای مختلف پوشیدنی و زینتی با رنگ‌ها و طرح‌های مختلف مورد آزمون قرار گرفته است. برای طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از تبدیل ویولت، از مدل مخفی مارکوف (HMM) استفاده شده که بهترین دقت طبقه‌بندی برابر با ۷۱٪ با سه حالت برای HMM را به همراه داشته است. عمل‌کرد پیش‌بینی (دقت) میانگین برای هر کالا به طور جداگانه نیز محاسبه شده که در برخی کالاها دقت بیش‌تری نسبت به طبقه‌بندی پایه داشته است. همچنین طبقه‌بندی‌های تفکیکی با سیگنال‌های حاصل از لوب‌های مختلف مغز نیز انجام شده که در آن بیش‌ترین دقت (۷۰٪) برای حالتی بوده که از تمام دادگان (۱۴ کانال) برای طبقه‌بندی استفاده شده است. در مقایسه با روش پیشنهادی مقاله‌ی حاضر، می‌توان گفت که هرچند در مقاله‌ی [۲۳] از روش پیش‌بینی قوی‌تری استفاده شده، اما به دلیل تنوع کالاها، عمل‌کرد موفق‌تری در فاز آموزش نداشته و به رغم استراتژی‌های مختلف به کار



میانی) و ساقه‌ی مغز (مغز قدیم) در تصمیم‌گیری مربوط به کالاها است، هم‌خوانی دارد. نئوکورتکس با پردازش اطلاعات ورودی سر و کار داشته، سیستم لیمبیک دارای ساختارهایی است که با انگیزه، احساس، لذت و حافظه‌ی احساسی مرتبط بوده و مغز قدیم به عنوان مهم‌ترین ساختار در تصمیم‌گیری شناخته می‌شود. این نتایج می‌تواند به محققان علوم شناختی در کشف فعالیت‌های نورونی و ارتباطات آن در وقوع احساسات و تصمیم‌گیری افراد کمک کند.

جنبه‌های مختلف فعالیت مغزی در فرایند انتخاب کالای مورد پسند بررسی شود. به کمک نگاشت فعالیت مغزی، فرضیه‌ای در مورد نواحی فعال مغز در تحریک احساسی و فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب ارائه شده است. در هنگام تحریک با تصاویر کالای انتخابی، ناحیه‌ی اکسیپیتال، فرونتال و لیمبیک به ترتیب بیش‌ترین فعالیت را داشته‌اند. در فاز تصمیم‌گیری و انتخاب کالا نیز ناحیه‌ی لیمبیک فعالیت بیش‌تری داشته است. این نتایج، با تحقیقات پیشین fMRI و EEG که حاکی از نقش سه ناحیه‌ی نئوکورتکس (مغز جدید)، سیستم لیمبیک (مغز

جدول (۷) - مقایسه‌ی روش پیشنهادی با چند تحقیق معتبر در این زمینه

مقاله	هدف	روش	فرایند آزمایش و ابزار پردازش	نتایج
[۲۴]	ارزیابی فعالیت ناحیه‌ی فرونتال در واکنش به تبلیغات	EEG	مشاهده‌ی ۳ آگهی از یک برند خاص و ۳۰ برند دیگر، ۴۵ شرکت‌کننده	فعالیت نسبی بیش‌تر در ناحیه‌ی فرونتال چپ (در باند آلفا)
[۲۵]	مشخص کردن نواحی فعال مغزی در اثر تبلیغاتی که به شدت مورد پسند هستند	fMRI	تقسیم محرک‌ها به سه دسته‌ی به شدت مورد پسند، متوسط و غیر پسند، رتبه‌بندی ۳۰ تبلیغ توسط شرکت‌کنندگان	فعالیت کورتکس پیش‌فرونتال میانی و کورتکس‌های بینایی در مشاهده‌ی تبلیغات به شدت مورد پسند
[۲۳]	پیش‌بینی ترجیح و انتخاب یک کالا توسط مشتری در قالب دوست داشتن/نداشتن محصول	EEG	مشاهده‌ی تصاویر ۱۴ محصول مختلف با سه تنوع برای هر یک و ثبت انتخاب افراد، ۲۵ شرکت‌کننده، ابزار پردازش: هموارسازی ثبت توسط S-Golay و طبقه‌بندی آن توسط HMM	دقت طبقه‌بندی ۷۰/۳۳٪
[۹]	تحلیل و ارزیابی آماری تفاوت خودآگاه و ناخودآگاه با مقایسه‌ی آماری خوداظهاری و مخاطب‌شناسی عصبی، تعیین کاراکتر مناسب جهت استفاده در پویانمایی برای کودکان	ERP	ثبت پتانسیل وابسته به رخداد در هنگام مشاهده‌ی ۱۹ کاراکتر، ۳۰ شرکت‌کننده، ابزار پردازش: استخراج و ارزیابی مولفه‌ی p1 و آنالیز آماری	عدم وجود تفاوت در میزان خوشایندی به تصاویر در میان زنان و مردان، وجود تفاوت قابل ملاحظه در عکس‌العمل مغز به تصاویر در میان زنان و مردان، وجود تفاوت در خوشایندی تصاویر انسانی و حیوانی در حالی که ثبت مغزی آن را تایید نمی‌کند
[۲۶]	بررسی وجود یک رابطه‌ی متقابل میان اندازه‌گیری‌های بیومتریک و پاسخ‌های اظهار شده در پرسش‌نامه جهت انتخاب کالاها	ECG GSR	ثبت در هنگام مشاهده‌ی وبسایت‌های تجاری برای دو نوع کالای متفاوت، یک کالای عمل‌کردی که اغلب برای مزایای مورد انتظار خریداری شده و یک کالای لذتی که برای کسب احساس رضایت انتخاب می‌شود، ۲۲ شرکت‌کننده، ابزار پردازش: آنالیز کورلیشن و مقایسه‌ی آماری در SPSS	عدم وجود ارتباط متقابل بین بیومتریک‌های ثبت شده و احساسات اظهار شده تاثیر خوشایند بودن روی نگرش افراد در مورد کالاهای دارای جنبه‌ی لذتی
روش پیشنهادی	ارزیابی فعالیت نواحی مغزی و مقایسه‌ی آن‌ها پیش‌بینی دوست داشتن/نداشتن مقایسه‌ی خودآگاه و ناخودآگاه	EEG	مشاهده‌ی ۹ تصویر از سنگ‌های زینتی برای جواهرآلات و ثبت فعالیت خودآگاه و ناخودآگاه، ۲۴ شرکت‌کننده، ابزار پردازش: استخراج ویژگی آنروپی، طبقه‌بند نوروفازی و آنالیز آماری	فعالیت بیش‌تر در اکسیپیتال و فرونتال (لیمبیک) در هنگام تحریک احساسی (انتخاب)، دقت طبقه‌بندی: ۸۷/۴٪، رد شدن فرضیه‌ی عدم وجود تفاوت معنادار بین خودآگاه و ناخودآگاه

حاکی از بهترین دقت برابر با ۸۷/۴٪ در انتخاب زمره توسط پردازش کل باند فرکانسی است. بیش‌ترین تشخیص‌های نادرست تقریباً در تمام مدل‌های طبقه‌بندی (تفاوت مدل‌ها در استخراج ویژگی از باندهای فرکانسی متمایز است) بین گروه

در فاز بعدی این تحقیق، طبقه‌بندی به کمک یک شبکه‌ی عصبی فازی با هدف پیاده‌سازی سیستمی هوشمند جهت یادگیری فرایند انتخاب افراد به کمک پردازش سیگنال‌های مغزی انجام شده است. نتایج طبقه‌بندی توسط این سیستم

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله توسط دانشگاه آزاد اسلامی قزوین حمایت شده است. از زحمات جناب آقای مهندس ارفند در فرایند ثبت سیگنال‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

- [1] N. Lee, A. J. Broderick, L. Chamberlain, "What is 'neuromarketing'? A discussion and agenda for future research," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 63, pp.199-204, 2007.
- [2] T. Schneider, S. Woolger, "Neuroscience beyond the laboratory: Neuro knowledges, technologies and Markets," *BioSocieties*, vol.10, pp.389-399, 2015.
- [3] RP. Bagozzi, M. Gopinath, PU. Nyer, "The role of emotions in marketing," *J Acad Market Sci*, vol. 27, no. 2, pp.184-206, 1999.
- [4] P. Renvoise, C. Morin, "Neuromarketing: Understanding the Buy Buttons in Your Customer's Brain". Kindle Edition, Nashville, Tenn.: Thomas Nelson; London: New Holland, 2008.
- [5] G. Vecchiato, J. Toppi, L. Astolfi, et al., "Spectral EEG frontal asymmetries correlate with the experienced pleasantness of TV commercial advertisements," *Med Biol Eng Comput*, vol. 49, pp. 579-583, 2011.
- [6] U. Karmarkar, "Note on Neuromarketing. Harvard Business School Background Note Marketing Unit Case," 512-031, Sep. 2011.
- [7] B. Veronica, "Brief history of neuromarketing," *J Bert Rus*, pp.119-121, 2009.
- [8] M. Cohen, CE. Elger, C. Ranganath, "Reward expectation modulates feedback-related negativity and EEG spectra. *Neuroimage*," vol. 35, no. 2, pp. 968-78, Apr 2007.
- [9] M. M. Izadkhah, S. yahyaie, "Analysis of Conscious and Unconscious Animation Audience Behavior in Children Using Neuromarketing," *New Media Studies*, vol 2, issue 5, pp. 102-135, 2016.
- [10] G. Vecchiato, J. Toppi, L. Astolfi, F.V. Fallani, F. Cincotti, D. Mattia, F. Bez, F. Babilo, "Spectral EEG frontal asymmetries correlate with the experienced pleasantness of TV commercial advertisements," *Med Biol Eng Comput*, vol. 49, pp.579-583, 2011.
- [11] D. Ariely, G. S. Berns, "Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business", *Nat Rev Neurosci*. Vol. 11, no. 4, pp. 284-292, April 2010.
- [12] T. Nomura, Y. Mitsukura, "Extraction of unconscious emotions while watching TV commercials", *IECON2015-Yokohoma*, November 9-12.2015.
- [13] A. Telpaz, R. Webb, D. J. Levy, "Using EEG to predict consumers' future choices," *Journal of Marketing Research*, vol. 52, no. 4, pp. 511-529, 2015.

سایر و الماس با متوسط ۱۵/۴۶٪ است. کم‌ترین تشخیص‌های نادرست نیز بین الماس و زمرد با متوسط ۸/۳۴٪ است. به طور خلاصه، نتایج طبقه‌بندی توسط سیستم هوشمند عصبی فازی بیان‌گر توانایی بالای آن در تفکیک انتخاب‌های کاربران است. پیش‌رفت این علم در آینده و بهبود مدل‌های طبقه‌بندی و پیش‌بینی می‌تواند دقت تخمین بالاتری از فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب افراد را نتیجه دهد. به این ترتیب تولیدکنندگان می‌توانند انتخاب‌های مشتریان را قبل از ارائه‌ی محصول پیش‌بینی کنند. مسلماً این نوع کسب دانش از انتخاب مشتریان بسیار قابل اطمینان‌تر از پرسش‌نامه و بازاریابی سنتی است، زیرا حقایق ناگفته‌ی ناخودآگاه را منعکس می‌کند.

در نهایت، تعدادی آزمون و تحلیل آماری برای بررسی ناخودآگاه افراد و همچنین مقایسه‌ی آماری بین خودآگاه و ناخودآگاه آن‌ها، با هدف ارزیابی معناداری نتایج به دست آمده از تحقیق انجام شده است. نتایج آماری به دست آمده از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

- ۱- فرضیه‌ی آزمون در معناداری تفاوت میانگین جنسیت ۱۰۰٪ مورد قبول است
- ۲- وجود تفاوت معنادار در انتخاب سنگ‌ها با ۹۵٪ اطمینان از حد پایین مورد قبول است
- ۳- عدم وابستگی متغیرهای جنسیت و سنگ با ۹۵٪ معناداری توسط آنالیز رگرسیون تایید می‌شود
- ۴- آنالیز واریانس با سطح معناداری $p < 0.001$ و $p < 0.005$ عدم وجود تفاوت معنادار بین خودآگاه و ناخودآگاه در فرایند انتخاب را رد می‌کند

در پایان باید اشاره کرد که مهم‌ترین دانشی که در تحقیقات بازاریابی عصبی مورد نیاز است، بررسی وجود/عدم وجود تفاوت و نیز تشخیص نوع تفاوت میان خودآگاه و ناخودآگاه فرد در فرایند انتخاب می‌باشد. مسلماً هدف این گونه تحقیقات دست‌یابی و آنالیز آن بخش از مغز است که تاثیر زیادی در تصمیم‌گیری افراد داشته اما در خودآگاه آن‌ها منعکس نمی‌شود (حتی شاید با خودآگاه فرد مغایرت داشته باشد). به این ترتیب محققان بازار می‌توانند احساس واقعی درونی افراد را بدون این‌که در زبان یا رفتار آن‌ها منعکس شود، شناسایی نموده و بر اساس آن به طراحی و تولید محصول‌های مورد سلیقه‌ی مشتریان بپردازند. برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود به کالاها و برندهای خاص مخصوصاً کالاهای مصرفی و مورد نیاز جامعه پرداخته شده و علاوه بر دوست داشتن، سایر شناخت‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد. در ضمن ابزارهای پردازشی پیشرفته برای بهبود دقت و صحت شناسایی و تخمین مورد نیاز می‌باشد.

- [22] CM. Held, JE. Heiss, PA. Estévez, CA. Perez, M. Garrido, C. Algarín, P. Peirano, "Extracting fuzzy rules from polysomnographic recordings for infant sleep classification". *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 53, no. 10, pp. 1954-1962, 2006.
- [23] M. Yadava, P. Kumar, R. Saini, P. Pratim Roy, D. Prosad Dogra, "Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing", *Multimed Tools Appl*, DOI 10.1007/s11042-017-4580-6.
- [24] M. Yadava, P. Kumar, R. Saini, P. Pratim Roy, D. Prosad Dogra, "Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing", *Multimed Tools Appl*, DOI 10.1007/s11042-017-4580-6.
- [25] B. Yılmaz, S. Korkmaz, D. B. Arslan, E. Güngör, M. H. Asyalı, "Like/dislike analysis using EEG: Determination of most discriminative channels and frequencies", *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 113, pp. 705-713, 2014.
- [26] R. Ohme, D. Reykowska, D. Wiener, et al. "Application of frontal EEG asymmetry to advertising research", *Journal of Economic Psychology* vol. 31, no. 5, pp. 758-793, 2010.
- [27] C. Molin, "A Neuromarketing research: investigating consumers' self-declared and biometric emotional responses to products", Master Thesis, Management Engineering Department, Politecnico di Milano university, 2015.
- [14] K. Hengsborg, "Neuromarketing-fundamentals and insights for advantageous advertising in a luxury watch context," Doctoral dissertation, Msc thesis in marketing, Dublin Business School 2015.
- [15] S. Raiesdana, "Automated sleep staging of OSAs based on ICA preprocessing and consolidation of temporal correlations," *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, vol. 41, pp. 161-176, March 2018.
- [16] M. Costa, A. L. Goldberger, C. K. Peng, Multiscale entropy analysis of biological signals, *Physical review*, vol. 71, 021906-1:18, 2005.
- [17] S. M. pincus, "Approximate entropy as a measure of system complexity," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 88, no. 6, pp.2297-2301,1991.
- [18] S. Heykin, "Neural network, a comprehensive foundation". 1th ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [19] R. Christensen, "Analysis of Variance, Design and Regression, Applied Statistical method," Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science, Chapman and Hall/CRC; 1 edition (June 1, 1996).
- [20] <https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>
- [21] A. Delorme, J. Palmer, R. Oostenveld, J. Onton, S. Makeig, "Independent EEG components are dipolar", *PLoS One*. doi.org/10.1371/journal.pone.0030135, Feb. 2012.