

Analysis of Feedback Effect on the Neural Sources of P300 Component

Sabeti, Malihe^{1*} / Boostani, Reza² / Moradi, Ehsan³

¹ - Assistant Professor, Computer Engineering Department, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² - Associate Professor, CSE & IT Department, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

³ - Assistant Professor, Department of Neurosurgery, Mofid Children's Hospital, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/IJBME.2019.104838.1457

Received: 7 March 2019

Revised: 10/10/2019-31/10/2019-1/12/2019

Accepted: 1 December 2019

KEYWORDS

P300 Sources
Source Localization
Feedback Effect

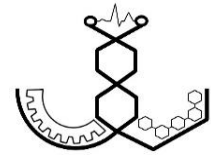
ABSTRACT

The P300 event-related potentials (ERPs) has implicated in outcome evaluation and reward processing. It is controversial how reward processing affects the neural sources of P300. We try to investigate the effect of feedback on the neural sources of P300 component. Thirty healthy subjects were participated and their EEG signals were recorded by thirty channels through the start (30 minutes), feedback (60-90 minutes) and last (30 minutes) segments. We analyzed feedback segment where an equal number of audio and visual stimulus were applied to the participants to perform audio and visual recognition tasks. We punished participants for wrong answers where each wrong answer adds four more tests to this segment. The P300 component was extracted from the background EEG at all channels using the conventional time-locked synchronous grand averaging over all time frames and subjects. Next, two well-known source localization algorithms including standardize low resolution electromagnetic tomography (sLORETA) and shrinking sLORETA were applied to the P300 waveforms for estimating the activity of the P300 sources. Our finding show a significant increase in the activation of P300 sources in the feedback-locked compared to the stimulus-locked over right tempo-parieto-occipital areas (secondary association area) in visual recognition task, but difference of P300 sources is not significant in audio recognition task. The discrepancy between the audio and visual task confirms the hypothesis that our participants considered more probability of wrong answers in the audio task, but they respond to visual test with more confidence.

***Corresponding Author**

Address	Computer Engineering Department, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Postal Code	1651153311
E-Mail	m.sabeti@iau-tnb.ac.ir
Tel	+98-21-77009800
Fax	+98-21-77009847





تعیین اثر بازخورد بر منابع عصبی مولفه‌ی P300

ثابتی، ملیحه^{۱*} / بوستانی، رضا^۲ / مرادی، احسان^۳

^۱ - استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۲ - دانشیار، گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
^۳ - استادیار، گروه جراحی مغز و اعصاب، بیمارستان کودکان مفید، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/IJBME.2019.104838.1457

پذیرش: ۱۰ آذر ۱۳۹۸

بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۱۸ - ۱۳۹۸/۸/۹ - ۱۳۹۸/۹/۱۰

ثبت در سامانه: ۱۶ اسفند ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی

چکیده

منابع مغزی P300
مکان‌یابی منبع
اثر بازخورد

نتایج تحقیقات پیشین حاکی از تأثیر یادگیری (پاداش/تنبیه) روی ویژگی‌های پتانسیل وابسته به رویداد P300 است. در این تحقیق با اعمال الگوریتم‌های مکان‌یابی روی مولفه‌ی P300 استخراج شده از کانال‌ها، تأثیر بازخورد در منابع مغزی مولفه‌ی P300 به صورت دقیق‌تری اندازه‌گیری شده است. در این راستا، سیگنال‌های EEG از ۳۰ فرد سالم در هنگام انجام آزمون‌های دیداری و شنیداری با استفاده از ۳۰ الکترود سطحی (از جنس نقره) در سه فاز شروع (۳۰ دقیقه)، بازخورد (۶۰-۹۰ دقیقه) و پایان (۳۰ دقیقه) ثبت شده است. تعداد محرک‌های دیداری و شنیداری برای تمامی افراد در فاز بازخورد به صورت یکسان اعمال شده تا شرکت کنندگان بتوانند محرک‌های دیداری و شنیداری را شناسایی کنند. در این فاز، شرکت کنندگان برای پاسخ‌های نادرست جریمه شده به طوری که به ازای هر پاسخ نادرست، چهار آزمون دیگر به این فاز اضافه می‌شود. سپس الگوهای P300 با استفاده از میانگین‌گیری گسترده‌ی زمانی روی تمامی افراد استخراج شده است. در ادامه از الگوریتم‌های مکان‌یابی استاندارد توموگرافی الکترومغناطیس با رزولوشن پایین (sLORETA) و (LORETA) کاهش دهنده برای تخمین فعالیت منابع مغزی P300 استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل منابع مولفه‌ی P300 بازخورد، حاکی از افزایش معنی‌دار و قابل توجه تغییرات، به خصوص در نواحی آهیانه‌ای-خلفی راست (نواحی ارتباطی ثانویه) در منابع مولفه‌ی P300 بازخورد در مقایسه با منابع مغزی مولفه‌ی P300 تحریک در آزمون دیداری است اما این اختلاف در آزمون شنیداری معنادار نمی‌باشد. اختلاف بین آزمون دیداری و شنیداری این فرضیه را تأیید می‌کند که شرکت کنندگان اشتباه پاسخ دادن در آزمون‌های شنیداری را محتمل دانسته و با اطمینان بیش‌تری به آزمون‌های دیداری پاسخ داده‌اند.

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده‌ی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تلفن ۹۸۰۰۹۷۷۰۲۱-۹۸

۱۶۵۱۱۶۳۳۱۱

دورنگار ۹۸۴۷۰۰۹۷۷۰۲۱-۹۸

m.sabeti@iau-tmb.ac.ir

پست الکترونیک



۱- مقدمه

مولفه‌ی P300 یکی از شناخته‌شده‌ترین مولفه‌های سیگنال پتانسیل وابسته به رویداد^۱ است که در هنگام فعالیت‌های ذهنی مرتبط با حافظه و توجه بروز پیدا می‌کند [۱، ۲]. چالش اصلی در تحلیل P300، شناسایی تغییرات مولفه‌های P300 در هنگام فعالیت‌های متفاوت ذهنی است، چرا که موجک P300 دامنه‌ی کمی داشته و معمولاً در فرایند متوسط‌گیری استخراج می‌شود. شناسایی تغییرات P300 تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله فرد، تعداد ثبت‌های اخذ شده، کیفیت دستگاه ثبت EEG^۲ و الگوریتم‌های حذف نویز بوده و در کاربردهای کلینیکی، از دست رفتن کیفیت P300 استخراج شده از EEG و در نتیجه عدم تشخیص تغییرات مولفه‌های آن امری متداول است [۳].

در اولین مطالعه در این زمینه با استفاده از الکترودهای عمقی در مناطق گیج‌گاهی-میانی در بیماران مبتلا به صرع، ناحیه‌ی هیپوکامپ به عنوان منبع P300 معرفی شده است [۴]. در مقابل، مطالعات دیگر روی بیماران دارای سابقه‌ی لوبکتومی یا آسیب لوب گیج‌گاهی-میانی، نشان داد که هیپوکامپ نمی‌تواند به عنوان منبع منحصر به فرد این مولفه در نظر گرفته شود [۵]. در حقیقت، بخش‌های پیشانی، آهیانه‌ای، گیج‌گاهی و سیستم لیمبیک به عنوان منبع P300 شناخته شده [۶، ۷] که تصاویر fMRI اخذ شده نیز بر این نتیجه دلالت دارند [۸]. مولفه‌ی P300 نقش مهمی در پردازش بازخورد و رمزگذاری حافظه دارد. در فرایند تصمیم‌گیری، مولفه‌ی P300 بازخورد، متناسب با انتظار پاداش و مقدار پاداش تغییر کرده اما معمولاً با ارزش بازخورد (پاداش یا جریمه) تغییر نمی‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این مولفه ممکن است با به‌روزرسانی انتظارات حاصل از نتایج مرتبط باشد [۹، ۱۰]. یافته‌های دیگر حاکی از آن است که P300 با به‌روزرسانی حافظه‌ی فعال^۳ و رمزگذاری اطلاعات جدید مرتبط است [۱۱، ۱۲].

وو و هم‌کارانش [۱۳] تاثیر دو پارامتر ارزش و مقدار پاداش بر مولفه‌ی P300 را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که مولفه‌ی P300 به فرایند ارزیابی پیامد از جمله ارزش، مقدار و انتظار پاداش که همگی مربوط به تخصیص منابع توجه^۴ هستند، حساس است. ارنست و هم‌کارانش [۱۴] نشان دادند که P300 به طور مستقیم با پردازش بازخورد در پاسخ‌های درست مرتبط است. یافته‌های آن‌ها نشان داد که بازخورد مثبت، با P300 بزرگ‌تری نسبت به بازخورد منفی همراه بوده و در واقع P300 نشان دهنده‌ی یک فرایند یادگیری است که

هر دو بازخورد اولیه و اطلاعات در مورد پاسخ صحیح را ترکیب می‌کند. آن‌ها بیان کردند که P300 بازخورد نشان دهنده‌ی فرایند یادگیری بوده که ناشی از هم‌خوانی بازخورد پاسخ اولیه با حافظه‌ی فعال است [۱۴]. نتایج تحقیق آن‌ها این فرضیه را تایید می‌کند که ارزیابی بازخورد هنگامی کارآمد است که با پاسخ موجود در حافظه‌ی فعال هم‌راستا باشد. در این رابطه، به‌روزرسانی آنی حافظه‌ی فعال ایجاد شده که در آن پاسخ صحیح با محتوای اطلاعات زمینه‌ای که بازایی را تسهیل می‌کند، مرتبط است [۱۴]. دامنه‌ی P300 می‌تواند نشان دهنده‌ی به‌روز شدن حافظه‌ی فعال یا فرایند تصمیم‌گیری باشد که بازخورد از طریق آن ارزیابی می‌شود. از آن‌جا که شرکت کنندگان به طور معمول تنها واکنش انتخابی را در حافظه‌ی فعال نگه می‌دارند، یادگیری سریع توسط یک P300 بزرگ برای آزمایش‌های با بازخورد مثبت نشان داده می‌شود [۱۴].

هاژک و هم‌کارانش [۱۵] نشان دادند که مولفه‌ی P300 با بازخورد غیرمنتظره افزایش یافته اما به ارزش بازخورد (مثبت یا منفی بودن) حساس نمی‌باشد. آن‌ها گزارش کردند که مولفه‌ی P300 به انتظار پاداش حساس بوده و دامنه‌ی آن در بازخوردهای غیرمنتظره در مقایسه با بازخوردهای مورد انتظار بیش‌تر است. زیلر و هم‌کارانش [۱۶] سه مطالعه برای مقایسه‌ی تاثیر دو نوع بازخورد (نماد و تصاویر چهره‌ی احساسی) روی مولفه‌ی P300 انجام دادند. شرکت کنندگان در این مطالعه، بازخورد مثبت و منفی از عمل کرد خود در یک آزمون تخمین زمان را دریافت کردند. در مطالعه‌ی اول، بازخورد به شکل نماد علامت مثبت یا منفی تعریف شده در حالی که در مطالعه‌های دوم و سوم بازخورد به صورت ترکیبی از نماد و چهره (چهره‌ی شاد یا خشم‌گین) در نظر گرفته شده است. نوع بازخورد در مطالعه‌ی دوم به طور تصادفی از یک آزمون به آزمون دیگر متغیر بوده در حالی که در مطالعه‌ی سوم نوع بازخورد در ۵۰ آزمون پایدار بوده است. تحلیل آماری آن‌ها نشان داد که دامنه‌ی مولفه‌ی P300 در بازخورد مثبت و استفاده از چهره به عنوان بازخورد بزرگ‌تر بوده است. آن‌ها دریافتند که تحلیل ارزش بازخورد (مثبت یا منفی بودن بازخورد) و برجستگی آن با مکانیسم عصبی یک‌سانی در مغز پردازش می‌شود.

ژانگ و هم‌کارانش [۱۷] تغییرات مولفه‌ی P300 را برای بازخورد ساده و پیچیده بررسی کردند. در این تحقیق از شرکت کنندگان خواسته شده تا جذابیت چهره‌های غیرواضح و مات را قضاوت کنند و سپس تصاویر واضح به عنوان بازخورد به آن‌ها

^۱ Working Memory^۲ Attentional^۳ Event-Related Potential (ERP)^۴ Electroencephalography



مطالعه‌ی دیگر، تاثیر خستگی ذهنی بر منابع عصبی مولفه‌های P300 را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش قابل توجهی در فعالیت منابع P300 در اثر خستگی ذهنی پس از کار طولانی مدت در نواحی ارتباط دهنده‌ی لوب‌های گیج‌گاهی، آهیانه‌ای پشتی (ناحیه‌ی ارتباطی ثانویه) وجود دارد. شیمپف و هم‌کارانش [۲۸] از الگوریتم SSLOFO برای شناسایی منابع عصبی P300 استفاده کرده در حالی که از مزایای رزولوشن زمانی بالای EEG نیز بهره گرفتند. آن‌ها نشان دادند که نتایج به دست آمده، با مطالعات تصویربرداری عصبی کاربردی^۲ پیشین سازگار هستند.

اگر چه تاثیر بازخورد بر خصوصیات مولفه‌ی P300 (دامنه و تاخیر) تا کنون مورد بررسی قرار گرفته است، اما هنوز در ارتباط بین P300 و پایش عمل‌کرد^۳ ابهاماتی وجود دارد. به عبارت دیگر، هنوز به طور دقیق مشخص نیست که چه قسمت‌هایی از مغز در نظارت بر عمل‌کرد شرکت دارند. بنابراین هدف این مطالعه، تجزیه و تحلیل اثر بازخورد بر منابع عصبی مولفه‌ی P300 است تا درک بهتری از ارتباط بین مولفه‌ی P300 و پایش عمل‌کرد به دست آید. در این راستا، روش‌های مکان‌یابی sLORETA و sLORETA کاهش دهنده به منظور تخمین توزیع منابع مغزی P300 بازخورد، روی P300-های استخراج شده از EEG-ها اعمال شده تا تاثیر بازخورد روی منابع P300 بهتر و دقیق‌تر اندازه‌گیری شود. در ادامه‌ی این مقاله، در بخش ۲ به معرفی مجموعه‌ی داده‌ها و روش‌های پیش‌پردازش سیگنال‌های EEG پرداخته شده و در بخش ۳ نحوه‌ی پیاده‌سازی الگوریتم‌های sLORETA و sLORETA کاهش دهنده توضیح داده شده است. در بخش ۴ نتایج به دست آمده ارائه شده و مزایا و معایب روش‌های مورد استفاده مورد بررسی قرار گرفته است. بخش ۵ نیز به جمع‌بندی و ارائه‌ی یک افق برای ادامه‌ی این مطالعه اختصاص داده شده است.

۲- جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه روی سی فرد سالم از میان دانشجویان دانشگاه شیراز (۲۰ مرد و ۱۰ زن) در بازه‌ی سنی ۱۸-۳۰ سال (میانگین سنی ۲۳/۴۰ سال و انحراف معیار ۳/۶۷) انجام شده است. از هر فرد خواسته شده تا با چشمان باز روی یک صندلی راحت نشسته و فرایند سیگنال‌گیری در سه فاز مختلف (به طور میانگین ۱۵۰ دقیقه برای هر فرد) انجام شده است. برای جلوگیری از بروز هر گونه نویز عضلانی^۴، گردن فرد به پشتی

نشان داده شده است. در ابتدا، شکل موج ERP الگوی معمول مولفه‌ی P300 را نشان نداده است. بنابراین، از تحلیل اجزای اصلی^۱ استفاده شده تا یک الگوی روشن از مولفه‌ی P300 استخراج شود. با این استدلال که مولفه‌ی P300 ممکن است با فرایندهای شناختی پیچیده‌ی دیگری برای محرک‌های پیچیده احاطه شده باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که مولفه‌ی P300 برای تصاویری با قضاوت اولیه‌ی درست بزرگ‌تر از مولفه‌ی P300 با قضاوت اولیه‌ی نادرست بوده و دامنه‌ی مولفه‌ی P300 چهره‌های جذاب، بزرگ‌تر از چهره‌های غیرجذاب است. یافته‌های آن‌ها حاکی از آن است که منابع مغزی درگیر در پردازش بازخورد پیچیده به طور کلی مشابه بازخورد ساده می‌باشند.

مای و هم‌کارانش [۱۸] نشان دادند که دو مولفه‌ی P300 و FRN از سیگنال ERP به ارزش پاداش یا نتیجه‌ی عمل‌کرد حساس بوده و هر دوی آن‌ها جنبه‌های مختلفی از ارزیابی پیامد را کدگذاری می‌کنند. مارتین [۱۹] دو مولفه‌ی بالقوه‌ی FRN و P300 که با یادگیری همراه با بازخورد مرتبط هستند را مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که مولفه‌ی FRN در بازخورد منفی دامنه‌ی بزرگ‌تری نسبت به بازخوردهای مثبت دارد اما تاثیر مقدار پاداش روی این مولفه چندان واضح نیست. مارتین در نهایت این فرضیه را مطرح کرد که FRN حساسیت بیش‌تری نسبت به ارزش بازخورد دارد اما P300 به مقدار یا بزرگی بازخورد حساس است.

در حال حاضر ابهاماتی در مورد منابع عصبی مولفه‌ی P300 وجود دارد، اما با توجه به دامنه‌ی بزرگ این مولفه، به نظر می‌رسد که دارای منابع توزیع‌شده‌ی وسیعی باشد. الگوریتم‌های مختلفی مانند توموگرافی الکترومغناطیسی با رزولوشن پایین (LORETA) [۲۰]، LORETA استاندارد [۲۱]، FOCUSS [۲۲] و SSLOFO [۲۳] برای مکان‌یابی و تخمین منابع عصبی سیگنال‌های EEG پیشنهاد شده است. مکان‌یابی منبع بر اساس پتانسیل روی سطح سر، به حل یک مساله‌ی معکوس با چندین راه حل احتمالی نیاز دارد که در آن انتخاب یک راه حل خاص اغلب مستلزم دانش قبلی از فیزیولوژی مغز (محل احتمالی منابع) و حتی وضعیت ذهنی شرکت کنندگان است [۲۴، ۲۵]. ثابتی و هم‌کارانش [۲۶] از دو الگوریتم مکان‌یابی با وضوح بالا و پایین شامل sLORETA و sLORETA کوچک شونده به طور هم‌زمان برای دست‌یابی به جزئیات منابع P300 استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که منابع P300 در ناحیه‌ی وسیعی از قشر مغز توزیع شده است. ثابتی و هم‌کارانش [۲۷] در یک

^۲ Performance Monitoring

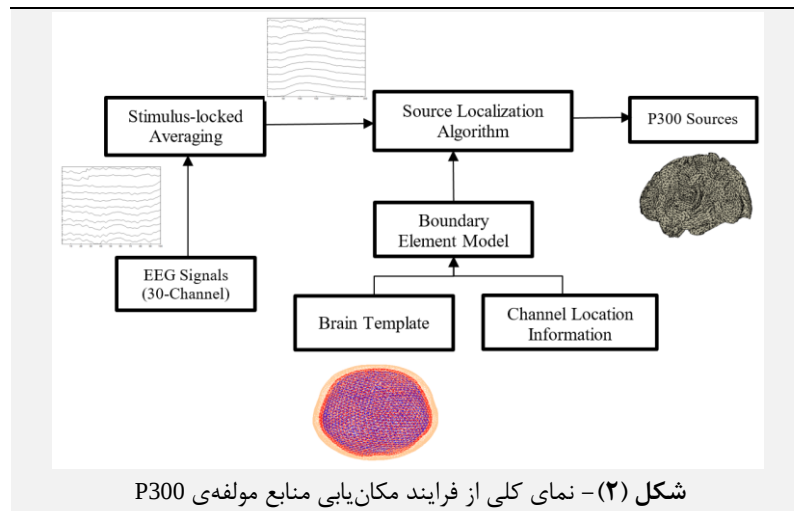
^۴ Electromyography (EMG)

^۱ Principal Component Analysis (PCA)

^۳ Functional Neuroimaging

Copyright © 2019 by ISBME, <http://www.ijbme.org> - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

مشاهده شده در الکترودها است. این ماتریس شامل اطلاعات هندسی در مورد موقعیت منابع، الکترودها و همچنین خواص رسانایی لایه‌های مختلف (مایع مغزی-نخاعی، جمجمه و پوست سر) می‌باشد. در این مطالعه برای محاسبه‌ی ماتریس L از مدل المان مرزی^۱ [۳۱] استفاده شده است. نمای کلی مراحل این مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است.



دومین الگوریتم مکان‌یابی در این مطالعه، الگوریتم sLORETA کاهش دهنده است که فرض می‌کند منابع داخل مغز کانونی‌تر بوده و وضوح مکانی بالایی را به روش تکراری ایجاد می‌کند. در این الگوریتم، فضای جست‌وجو با حذف نقاط بدون فعالیت تغییر می‌کند. در واقع این الگوریتم فضای منابع را پس از هر تکرار، کاهش داده که منجر به کاهش قابل توجهی در هزینه‌ی محاسباتی می‌شود. نحوه‌ی کاهش فضای منابع پس از هر تکرار با استفاده از این الگوریتم در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) - الگوریتم sLORETA کاهش دهنده

- ۱- چگالی جریان منابع مغزی با الگوریتم sLORETA تخمین زده می‌شود
- ۲- ماتریس وزن دهی C به صورت زیر مقداردهی اولیه می‌شود

$$C_0 = (W_0^{-1})^T W_0^{-1}$$

$$W_0 = \text{diag}(\hat{S}_0(1), \hat{S}_0(2), \dots, \hat{S}_0(3m))$$

- ۳- میزان فعالیت منابع مغزی به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\hat{S}_i^T(l) [L_i(l, l)]^{-1} \hat{S}_i(l)$$

- ۴- گره‌های برجسته‌تر (با فعالیت بیشتر) و همسایه‌های آن‌ها حفظ شده و فضای جست‌وجوی جدید تنها شامل گره‌های حفظ شده می‌باشد
- ۵- ماتریس وزن دهی به صورت زیر به‌روزرسانی می‌شود

$$W_i = P W_{i-1} [\text{diag}(\hat{S}_{i-1}(1), \hat{S}_{i-1}(2), \dots, \hat{S}_{i-1}(3m))]$$

$$P = \text{diag}\left[\frac{1}{\|K_1\|}, \dots, \frac{1}{\|K_{3m}\|}\right]$$

- ۶- مراحل ۳-۵ تا ناچیز شدن تغییرات ماتریس وزن دهی، تکرار می‌شوند

توصیف کننده‌ی الگوی انتشار رو به جلوی منابع عصبی روی الکترودها بوده و می‌توان آن را به m زیرماتریس L_i تجزیه کرد.

$$L = [L_1 \dots L_i \dots L_m] \quad (۲)$$

زمانی که دامنه‌ی بردار منبع در نقطه‌ی i برابر با ۱ و در سایر نقاط برابر با صفر باشد، بردار L_i با ابعاد $n \times 1$ حامل پتانسیل‌های

هدف از مکان‌یابی منبع، تخمین موقعیت منابع توزیع‌شده‌ی داخل مغز است که فعالیت آن‌ها با ایجاد الگوی خاصی به سیگنال EEG پس‌زمینه اضافه می‌شود. مکان‌یابی منابع با استفاده از این روش نیازمند حل یک مساله‌ی معکوس بوده و انتخاب یک راه حل خاص، اغلب نیازمند دانش فیزیولوژیکی در رابطه با مغز است. اولین الگوریتم مکان‌یابی منبع مورد استفاده در این مطالعه (sLORETA)، با استفاده از تابع هزینه‌ی زیر، راه حل منحصر به فردی برای مساله‌ی معکوس ارائه می‌کند.

$$\|X - LS\|^2 + \lambda \|S\|^2 \quad (۳)$$

در این رابطه، λ یک عدد ثابت مثبت بوده که به عنوان پارامتر تنظیم کننده شناخته می‌شود و $\| \cdot \|$ نشان دهنده‌ی نرم اقلیدسی است. به عبارت دیگر، الگوریتم sLORETA برای تخمین ماتریس منابعی که داده‌های کانال‌های EEG را تولید می‌کند از روش حداقل مربع بهره می‌گیرد با این محدودیت که راه حل‌هایی که دارای نرم بزرگی هستند را جریمه خواهد کرد. راه حل نهایی الگوریتم sLORETA به صورت زیر است.

$$S_i = L_i^T [L_i L_i^T + \lambda_i I]^{-1} X \quad (۴)$$

در این رابطه، $[\cdot]^{-1}$ نشان دهنده‌ی معکوس ماتریس بوده و اضافه کردن جمله‌ی $\lambda_i I$ به $L_i L_i^T$ از روبه‌رو شدن با وضعیت ill-posed در فرایند معکوس گرفتن از ماتریس $L_i L_i^T$ جلوگیری می‌کند.

^۱ Boundary Element Model (BEM)

۴- یافته‌ها و بحث

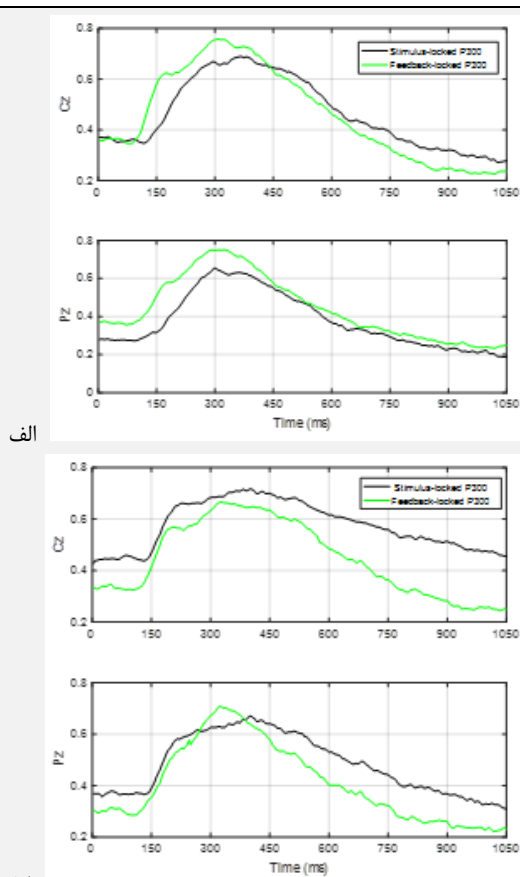
در این مطالعه، ابتدا لازم است تا مولفه‌ی P300 در هر دو آزمون دیداری و شنیداری استخراج شود. از آن‌جا که شکل موج ضعیف ERP توسط سیگنال قوی‌تر EEG پس‌زمینه احاطه شده است، در اغلب روش‌های استخراج ERP فرض می‌شود که EEG پس‌زمینه مشابه نویز سفید بوده و سیگنال ERP از نظر زمانی تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین می‌توان سیگنال ERP را با استفاده از متوسط‌گیری زمانی روی آزمون‌های متوالی استخراج نمود. پس از این متوسط‌گیری، سیگنال EEG پس‌زمینه محو شده در حالی که سیگنال ERP برجسته می‌شود.

در مرحله‌ی اول، بخش‌های^۱ پس از یک محرک خاص از سیگنال EEG در حال ثبت استخراج شده است. محرک‌های دیداری و شنیداری هر کدام به صورت مجزا در نظر گرفته شده‌اند. هر بخش که بلافاصله پس از تحریک شروع می‌شود شامل $n \times T$ نمونه بوده که در آن $n=30$ تعداد الکترودهای روی سر و $T=1650$ تعداد نمونه‌های سیگنال EEG در هر بخش است. همان‌طور که اشاره شد، فرایند استخراج سیگنال ERP با میانگین‌گیری سیگنال مغزی روی بخش‌های زمانی متوالی به دست آمده و پس از استخراج سیگنال ERP برای هر فرد، سیگنال ERP کل با میانگین‌گیری روی سیگنال ERP کل افراد به دست می‌آید که ابعاد آن برابر با 30×1650 است.

نتیجه‌ی فرایند متوسط‌گیری زمانی روی تمام شرکت‌کننده‌ها در کانال‌های Cz و Pz برای محرک شنیداری و دیداری در فاز بازخورد در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۳) در واقع نمونه‌ای از مولفه‌ی P300 را در دو کانال انتخابی (به عنوان نمونه از میان ۳۰ کانال) نشان داده که در آن بازه‌ی زمانی به گونه‌ای انتخاب شده است که مولفه‌ی P300 با جزئیات بیشتری نشان داده شود. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، P300 تحریک، یک مثبت‌گرایی در حدود ۳۰۰ میلی‌ثانیه پس از آغاز تحریک بوده و P300 بازخورد، یک مثبت‌گرایی در حدود ۳۰۰ میلی‌ثانیه پس از شروع نمایش بازخورد می‌باشد. از آن‌جا که مولفه‌ی P300 با بازخورد بزرگ‌تر (چه مثبت و چه منفی) دامنه‌ی بزرگ‌تری داشته و مثبت یا منفی بودن پاداش روی این مولفه تأثیری ندارد، در این مطالعه بخش بازخورد بدون در نظر گرفتن مثبت یا منفی بودن پاداش مورد بررسی قرار گرفته و مولفه‌ی P300 بازخورد با میانگین‌گیری هر دو نوع بازخورد استخراج شده است.

در این مقاله برای بررسی وجود یا عدم وجود یک تفاوت قابل توجه میان P300 تحریک و بازخورد از آزمون t استفاده شده

است. از آن‌جا که دو مشخصه‌ی دامنه و تاخیر مولفه‌ی P300 از اهمیت زیادی برخوردار هستند، می‌توان از آن‌ها به منظور مقایسه‌ی بهتر P300 تحریک و بازخورد بهره گرفت. پارامتر تاخیر مولفه‌ی P300 با ماکسیمم‌گیری در بازه‌ی ۲۰۰ تا ۵۵۰ میلی‌ثانیه پس از اعمال محرک دیداری و شنیداری تخمین زده شده و پس از یافتن مشخصه‌ی تاخیر (زمان دقیق رخداد P300)، مشخصه‌ی دامنه محاسبه شده است. میانگین و انحراف معیار مشخصه‌ی تاخیر و دامنه‌ی P300 تحریک و بازخورد برای تمام کانال‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.



الف

ب

شکل (۳) - فرایند میانگین‌گیری زمانی روی کانال‌های Cz و Pz برای استخراج مولفه‌ی P300 تحریک و بازخورد در: الف) آزمون دیداری، ب) آزمون شنیداری

جدول (۲) - میانگین و انحراف معیار مشخصه‌ی تاخیر P300

آزمون	P300 تحریک	P300 بازخورد
دیداری	$321/48 \pm 21/99$	$313/10 \pm 14/63$
شنیداری	$335/83 \pm 23/62$	$325/87 \pm 19/82$

جدول (۳) - میانگین و انحراف معیار مشخصه‌ی دامنه‌ی P30

آزمون	P300 تحریک	P300 بازخورد
دیداری	$0/65 \pm 0/04$	$0/72 \pm 0/05$
شنیداری	$0/66 \pm 0/05$	$0/64 \pm 0/06$

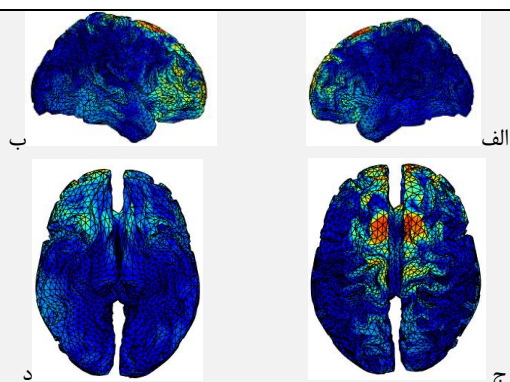
^۱ Epoch



۳۰، ۳۵۰ و ۸۱۹۶ به ترتیب بیان‌گر تعداد کانال‌ها، سائز فریم زمانی شامل مولفه‌ی P300 و نقاط بالقوه‌ای بوده که به عنوان منابع مولفه‌ی P300 در نظر گرفته شده‌اند (شکل‌های ۴-۷). نتیجه‌ی اعمال الگوریتم sLORETA برای مکان‌یابی منابع مغزی P300 تحریک و بازخورد در آزمون دیداری به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. تمام شکل‌های این مطالعه با استفاده از جعبه‌ابزار spm12 [۳۲] رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم sLORETA تصویر کلی از فعالیت عصبی در مغز را نشان داده که تعیین دقیق موقعیت منابع را دشوار می‌سازد. شکل (۴) بیش‌ترین فعالیت را در لوب پیشانی تحتانی راست، لوب گیج‌گاهی فوقانی و خلفی چپ، ناحیه‌ی پری‌فرونتال راست و جیروس سینگولیت^۳ (چپ و راست) نشان می‌دهد. شکل (۵) نشان می‌دهد که منابع عصبی P300 بازخورد در لوب پیشانی تحتانی، لوب گیج‌گاهی چپ، ناحیه‌ی پری‌فرونتال (چپ و راست)، ناحیه‌ی ارتباط دهنده‌ی لوب‌های آهیانه‌ای-گیج‌گاهی-خلفی (ناحیه‌ی ارتباطی) و جیروس سینگولیت (چپ و راست) قرار دارند. شکل‌های (۴) و (۵) نشان می‌دهند که در آزمون دیداری، فعالیت کلی مغز در P300 بازخورد در مقایسه با P300 تحریک به طور قابل توجهی افزایش یافته و بیش‌ترین افزایش در ناحیه‌ی ارتباطی و جیروس سینگولیت (چپ و راست) رخ می‌دهد. الگوریتم sLORETA کاهش دهنده توانایی مکان‌یابی منابع کانونی‌تر را دارد. منابع عصبی P300 تحریک و بازخورد در آزمون دیداری در جدول‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. نتایج اعمال الگوریتم sLORETA به مولفه‌ی P300 تحریک و بازخورد در فاز بازخورد برای آزمون شنیداری در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است. شکل (۶) نشان می‌دهد که منابع عصبی P300 تحریک در پری‌فرونتال (چپ و راست) و جیروس سینگولیت (راست و چپ) قرار دارند. شکل (۷) فعالیت منابع عصبی P300 بازخورد را بیش‌تر در ناحیه‌ی پری‌فرونتال (چپ و راست)، نواحی ارتباط دهنده‌ی آهیانه‌ای-گیج‌گاهی-خلفی (ناحیه‌ی ارتباطی) و جیروس سینگولیت (چپ و راست) نشان می‌دهد. شکل‌های (۶) و (۷) نشان می‌دهند که در آزمون بازشناختی شنیداری، فعال‌سازی بخش‌های راست نواحی ارتباطی در P300 بازخورد در مقایسه با P300 تحریک به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. کانون‌های عصبی مولفه‌ی P300 به دست آمده با الگوریتم sLORETA کاهش دهنده برای آزمون شنیداری در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.

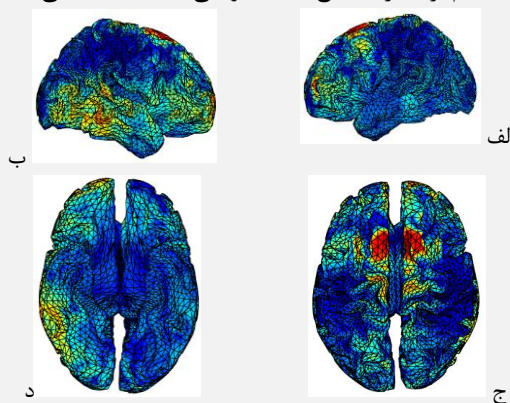
مقادیر تاخیر مولفه‌ی P300 تحریک و بازخورد روی ۳۰ کانال با استفاده از آزمون t وابسته^۱ با یکدیگر مقایسه شده است. ارزیابی آماری روی نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که تفاوت بین تاخیر مولفه‌ی P300 تحریک و بازخورد در آزمون دیداری ($P=0/02$) و آزمون شنیداری ($P=0/05$) معنادار است. برای بررسی بیش‌تر، دو آزمون دیداری و شنیداری نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج آزمون t مستقل نشان می‌دهد که تفاوت معناداری در مشخصه‌ی تاخیر P300 تحریک ($P=0/03$) و بازخورد ($P=0/00$) بین دو آزمون شنیداری و دیداری وجود دارد. طبق جدول (۲) مشاهده می‌شود که مولفه‌ی P300 با تاخیر بیش‌تری در آزمون شنیداری ثبت شده که ممکن است با سخت‌تر بودن آزمون شنیداری نسبت به آزمون دیداری مرتبط باشد (تمام شرکت کنندگان در این مطالعه، اذعان داشتند که آزمون شنیداری سخت‌تر از آزمون دیداری است). برای ارزیابی آماری اختلاف مشخصه‌ی دامنه روی نتایج جدول (۳)، مقادیر دامنه‌ی مولفه‌ی P300 تحریک و بازخورد روی ۳۰ کانال با استفاده از آزمون t وابسته با هم مقایسه شده است. این ارزیابی آماری نشان می‌دهد که اختلاف بین دامنه‌ی P300 تحریک و بازخورد در آزمون دیداری معنادار بوده ($P=0/00$) اما در آزمون شنیداری معنادار نمی‌باشد ($P=0/06$). همچنین تفاوت معناداری بین آزمون دیداری و شنیداری در مقدار دامنه‌ی P300 بازخورد وجود داشته ($P=0/00$) اما این تفاوت در دامنه‌ی P300 تحریک معنادار نمی‌باشد ($P=0/20$). در نهایت، دو الگوریتم مکان‌یابی ذکر شده برای تخمین فعالیت منابع مغزی P300 در فاز بازخورد (فازی که در آن فرد برای پاسخ‌های نادرست جریمه می‌شود) اعمال شده است. از آن‌جا که هدف این مطالعه بررسی منابع عصبی مولفه‌ی P300 است، این دو الگوریتم مکان‌یابی به بخشی از سیگنال ERP اعمال شده که حاوی مولفه‌ی P300 است (بازه‌ی زمانی ۲۰۰-۵۵۰ میلی‌ثانیه پس از اعمال تحریک). این الگوریتم‌ها مناطق فعال متناظر با P300 را با حل معادله‌ی $X=LS$ تخمین زده که در آن X نتیجه‌ی میانگین‌گیری گسترده‌ی^۲ سیگنال EEG روی تمام افراد، S منابع عصبی داخل مغزی مولفه‌ی P300 و L ماتریس lead-field است. در واقع نتیجه‌ی میانگین‌گیری زمانی برای استخراج مولفه‌ی P300 (شکل ۲) به عنوان ماتریس X در نظر گرفته شده تا اطلاعات مکانی موجود در سیگنال‌ها حفظ شود. ابعاد X پس از میانگین‌گیری زمانی برابر با 30×350 ، ابعاد S برابر با 8196×350 و ابعاد L برابر با 30×8196 است. مقادیر

^۳ Cingulate Gyrus^۱ Paired T-Test^۲ Grand Averaging



شکل (۶) - منابع عصبی P300 تحریک در آزمون شنیداری با

الگوریتم LORETA، (الف) نمای نیم‌کره‌ی چپ، (ب) نمای نیم‌کره‌ی راست، (ج) نمای فوقانی، (د) نمای تحتانی



شکل (۷) - منابع عصبی P300 بازخورد در آزمون شنیداری با

الگوریتم LORETA، (الف) نمای نیم‌کره‌ی چپ، (ب) نمای نیم‌کره‌ی راست، (ج) نمای فوقانی، (د) نمای تحتانی

جدول (۶) - منابع P300 تحریک در آزمون شنیداری به دست

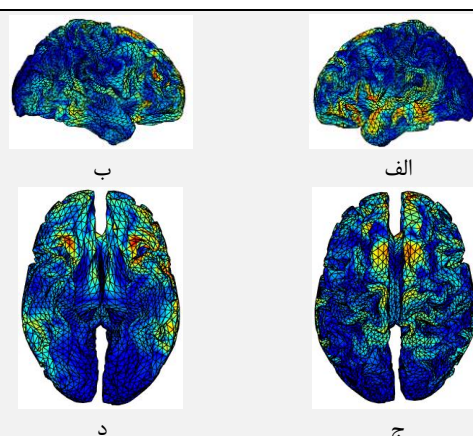
آمده با استفاده از الگوریتم sLORETA کاهش دهنده

مختصات MNI			ناحیه، مغز،
Z	Y	X	
۵۹/۹۵	-۵/۶۵	۷/۳۷	جیروس پیشانی میانی
۶۰/۶۲	۱۳/۸۱	-۷/۱۰	جیروس پیشانی فوقانی
۴۶/۸۷	۱۵/۸۶	-۳۱/۳۸	جیروس پیشانی میانی
۶۰/۸۶	-۱۳/۴۶	-۱۲/۱۱	جیروس سینگولیت
-۸/۹۶	۴۴/۲۲	۴۳/۵۹	جیروس پیشانی تحتانی

جدول (۷) - منابع P300 بازخورد در آزمون شنیداری به دست

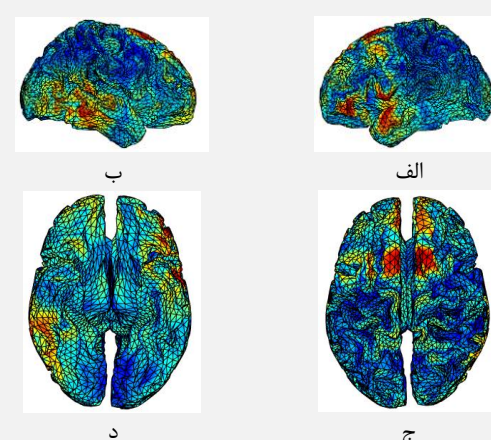
آمده با استفاده از الگوریتم sLORETA کاهش دهنده

مختصات MNI			ناحیه، مغز،
Z	Y	X	
۶۷/۹۴	-۲۱/۵۰	-۱۰/۳۷	جیروس پیشانی میانی
۶۱/۵۵	۸/۶۵	۱۱/۰۵	جیروس پیشانی فوقانی
۵۷/۶۷	۲۰/۹۴	-۵/۷۵	جیروس پیشانی فوقانی
۳۳/۷۹	۱۴/۲۷	-۵۱/۳۹	جیروس پیشانی میانی
۴۰/۱۶	۱۶/۳۳	-۴۴/۹۶	جیروس پیش مرکزی
-۲۴/۰۶	-۳۶/۲۷	۵۹/۱۶	جیروس گیج‌گاهی تحتانی
-۶۹/۱۵	-۳۸/۶۳	۵۸/۴۱	جیروس گیج‌گاهی میانی
۶۰/۵۵	-۷/۴۸	-۱۰/۳۰	جیروس سینگولیت



شکل (۴) - منابع عصبی P300 تحریک در آزمون دیداری با

الگوریتم LORETA، (الف) نمای نیم‌کره‌ی چپ، (ب) نمای نیم‌کره‌ی راست، (ج) نمای فوقانی، (د) نمای تحتانی



شکل (۵) - منابع عصبی P300 بازخورد در آزمون دیداری با

الگوریتم LORETA، (الف) نمای نیم‌کره‌ی چپ، (ب) نمای نیم‌کره‌ی راست، (ج) نمای فوقانی، (د) نمای تحتانی

جدول (۴) - منابع P300 تحریک در آزمون دیداری به دست

آمده با استفاده از الگوریتم sLORETA کاهش دهنده

مختصات MNI			ناحیه، مغز،
Z	Y	X	
۲۴/۹۴	۴۱/۷۷	-۳۶/۶۰	جیروس پیشانی میانی
-۸/۲۵	-۴۵/۶۲	-۶۳/۴۸	جیروس گیج‌گاهی میانی
۰/۳۹	-۳۸/۷۹	-۶۵/۷۴	جیروس گیج‌گاهی میانی
۶۰/۴۸	-۴/۸۶	۱۲/۰۷	جیروس سینگولیت
-۰/۷۵	۱۹/۵۲	-۵۳/۴۶	جیروس پیشانی تحتانی

جدول (۵) - منابع P300 بازخورد در آزمون دیداری به دست

آمده با استفاده از الگوریتم sLORETA کاهش دهنده

مختصات MNI			ناحیه، مغز،
Z	Y	X	
۶۹/۷۱	-۴۳/۵۶	۱۵/۰۲	جیروس پس‌مرکزی
۵۷/۶۷	۲۰/۹۴	-۵/۷۵	جیروس پیشانی فوقانی
۴۴/۰۱	۳۶/۳۰	۶/۷۴	جیروس پیشانی میانی
-۵/۲۹	-۲۰/۸۴	-۶۵/۳۳	جیروس گیج‌گاهی میانی
۶۰/۴۸	-۴/۸۶	۱۲/۰۷	جیروس سینگولیت



(خاموشی قشر مغز) می‌شوند [۳۳]. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم لیمبیک نقش مهمی در انتخاب اطلاعاتی که انسان فرا می‌گیرد بر عهده دارد.

۵- نتیجه‌گیری

از آن‌جا که تاثیر بازخورد بر شکل موج P300 و منابع عصبی آن تاکنون به خوبی بررسی نشده، این مطالعه به منظور مقایسه‌ی تغییرات منابع P300 و شکل موج آن پس از تحریک و بازخورد در آزمون‌های بازشناختی دیداری و شنیداری انجام شده است. در این راستا، دو الگوریتم مکان‌یابی sLORETA و EEG sLORETA کاهش دهنده به شکل موج متوسط سیگنال EEG اعمال شده تا تغییرات فعالیت منابع عصبی P300 تحریک و بازخورد را مشخص کنند. نتایج الگوریتم‌های مکان‌یابی نشان می‌دهد که فعالیت کلی مغز در منابع مغزی منتسب به P300 بازخورد در مقایسه با P300 تحریک در آزمون دیداری با وجود بازخوردهای غیرمنتظره‌ی بیشتر، به طور قابل توجهی افزایش یافته اما اختلاف فعالیت منابع عصبی مولفه‌ی P300 در آزمون شنیداری با بازخوردهای غیرمنتظره‌ی کمتر، معنادار نمی‌باشد. تغییرات فعالیت منابع عصبی مولفه‌ی P300، پنجره‌ی جدیدی را برای استفاده از P300 در بررسی منابع عصبی ارزیابی عمل کرد می‌گشاید.

۶- مراجع

- [1] S.J. Luck, An introduction to the event-related potential technique, second ed., The MIT Press, 2005.
References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must
- [2] J. Polich, "Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b," Clin. Neurophysiol., vol. 118, pp. 2128-2148, Jun. 2007.
- [3] M.F. Bear, B.W. Connors, M.A. Paradiso, Neuroscience exploring the brain, 4th ed. Philadelphia, Wolters Kluwer, 2016.
- [4] G. McCarthy, C.C. Wood, P.D. Williamson, D. Spencer, "Task-dependent field potentials in human hippocampal formation," J. Neurosci., vol. 9, pp. 4235-4268, Dec. 1989.
- [5] M. Molnar, "On the origin of the P300 event-related potential component," Int. J. Psychophysiol., vol. 17, pp. 129-144, 1994.
- [6] E. Kirino, A. Belger, P. Goldman-Rakic, G. McCarthy, "Prefrontal activation evoked by infrequent target and novel stimuli in a visual target detection task: an event-related functional magnetic resonance study," J. Neurosci., vol. 20, pp. 6612-6618, Sep. 2000.

در نهایت، از آزمون t برای بررسی تفاوت بین منابع عصبی دو مولفه‌ی P300 مذکور استفاده شده است. در این آزمون آماری، فعالیت در ۸۱۹۶ نقطه که به صورت بالقوه می‌توانند منبع مولفه‌ی P300 باشند، در دو حالت P300 تحریک و P300 بازخورد با یکدیگر مقایسه شده است. این تحلیل آماری نشان می‌دهد که بین فعال‌سازی منابع P300 تحریک و P300 بازخورد در آزمون دیداری تفاوت معناداری وجود داشته ($P=0/00$) اما این اختلاف در آزمون شنیداری معنادار نمی‌باشد ($P=0/47$). به نظر می‌رسد که محرک‌های غیرمنتظره (بازخوردهای غیرمنتظره)، منابع توجه زیادی را به خود اختصاص داده و دامنه‌ی مولفه‌ی P300 با تخصیص این منابع مرتبط است. نتایج نشان می‌دهد که در آزمون دیداری، وجود محرک‌های غیرمنتظره‌ی بیشتر، منجر به افزایش معنادار دامنه‌ی مولفه‌ی P300 و افزایش قابل توجه فعالیت منابع عصبی مولفه‌ی P300 شده است. وجود محرک‌های غیرمنتظره‌ی بیشتر در آزمون شنیداری، می‌تواند با دشوارتر بودن آزمون شنیداری نسبت به آزمون دیداری مرتبط باشد، به طوری که افراد با اطمینان بیشتری به آزمون دیداری پاسخ داده و دریافت بازخورد منفی برای آن‌ها غیرقابل انتظار بوده است. افزایش معنادار دامنه و فعالیت منابع عصبی P300 تحریک در مقایسه با P300 بازخورد در آزمون دیداری تایید می‌کند که دامنه‌ی P300 برای محرک‌های غیرمنتظره نسبت به محرک‌های مورد انتظار بیشتر است. این نتیجه با فرضیه‌ی به‌روزرسانی محتوا سازگار است. این فرضیه بیان می‌کند که محرک‌های غیرمنتظره، به‌روز کردن یک مدل ذهنی نیاز دارند و در حقیقت P300 میزان منابع شناختی اختصاص یافته به فرایند به‌روزرسانی را منعکس می‌کند.

نتایج الگوریتم sLORETA کاهش دهنده نشان می‌دهد که فعال شدن جیروس پیشانی فوقانی در P300 بازخورد در مقایسه با P300 تحریک افزایش یافته است. این یافته ممکن است با عملکرد این ناحیه که مرتبط با امید، عدم اطمینان و انتظار است، مرتبط باشد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش فعالیت مغز به ویژه در نواحی ارتباطی^۱ و جیروس سینگولیت در P300 بازخورد، تایید می‌کند که این نواحی نقش مهمی در پایش عملکرد ایفا می‌کنند. سیستم لیمبیک با ماهیت هیجانی احساسات (خوشایند یا ناخوشایند) سر و کار دارد. تحریک‌هایی که پاداش یا تنبیه را به دنبال داشته باشند، یک خاطره‌ی قوی در حافظه ایجاد کرده در حالی که محرک‌های حسی بدون بازخورد منجر به پیدایش عادت

^۱ Association Area

- [21] R.D. Pascual-Marqui, "Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography: technical details," *Methods. Find. Exp. Clin. Pharmacol.*, vol. 24, pp. 5-12, 2002.
- [22] I.F. Gorodnitsky, J.S. George, B.D. Rao, "Neuromagnetic source imaging with FOCUSS: a recursive weighted minimum norm algorithm," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 95, pp. 231-251, Oct. 1995.
- [23] H. Liu, P.H. Schimpf, G. Dong, X. Gao, F. Yang, S. Gao, "Standardized shrinking LORETA-FOCUSS (SSLOFO): a new algorithm for spatio-temporal EEG source reconstruction," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 52, pp. 1681-1691, Oct. 2005.
- [24] S. Sanei, J.A. Chambers, *EEG signal processing*, John Wiley & Sons, 2007.
- [25] ف. سلیمیان ریزی، و. ابوطالبی، م.ت. صادقی، «آشکار سیگنال مغزی با استفاده از الگوی P300 سازی مولفه زمانی مشترک»، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی پزشکی زیستی، دوره ۹، شماره ۴، صفحه ۳۸۷-۳۹۷، زمستان ۱۳۹۴.
- [26] M. Sabeti, S.D. Katebi, K. Rastgar, "Source localization algorithms to find attention and memory circuits in the brain," *J. King Saud Univ. Comput. Inform. Sci.*, vol. 27, pp. 334-343, Jul. 2015.
- [27] M. Sabeti, R. Boostani, K. Rastgar, "How mental fatigue affects the neural sources of P300 component?" *J. Integr. Neurosci.*, vol. 17, pp. 71-81, 2018.
- [28] P.H. Schimpf, H. Liu, "Localizing sources of the P300 using ICA, SSLOFO and latency mapping," *J. Biomechan. Biomed. Biophysic. Eng.*, vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [29] A.J. Bell, T.J. Sejnowski, "An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution," *Neural Comput.*, vol. 7, pp. 1129-1159, Nov. 1995.
- [30] و. ابوطالبی، م.ح. مرادی، م.ع. خلیل زاده، «آشکار سازی مولفه های شناختی سیگنال مغز با استفاده از ضرایب ویولت»، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی پزشکی زیستی، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۲۵-۴۵، پاییز ۱۳۸۳.
- [31] M. Fuchs, R. Drenckhahn, H.A. Wischmann, M. Wagner, "An improved boundary element method for realistic volume-conductor modeling," *IEEE Trans Biomed Eng.*, vol. 45, pp. 980-97, Aug. 1998.
- [32] Site of Spm12 software, Available: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12>.
- [33] M.M. Walsh, J.R. Anderson, "Learning from experience: Event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 36, pp. 1870-1884, Sep. 2012.
- [7] R.T. Knight, "Distributed cortical network for visual attention," *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 9, pp. 75-91, 1997.
- [8] A.A. Stevens, P. Skudlarski, J.C. Gatenby, J.C. Gore, "Event related fMRI of auditory and visual oddball tasks," *Magn. Reson. Imaging*, vol. 18, pp. 495-502, Jun. 2000.
- [9] V.P. Clark, S. Fannon, S. Lai, R. Benson, L. Bauer, "Responses to rare visual target and distractor stimuli using event-related fMRI," *J. Neurophysiol.*, vol. 83, pp. 3133-3139, May 2000.
- [10] Y. Long, X. Jiang, X. Zhou, "To believe or not to believe: trust choice modulates brain responses in outcome evaluation," *Neuroscience*, vol. 200, pp. 50-58, Jan. 2012.
- [11] C. Bellebaum, I. Daum, "Learning-related changes in reward expectancy are reflected in the feedback-related negativity," *Eur. J. Neurosci.*, vol. 27, pp. 1823-1835, Apr 2008.
- [12] م. عبدالصالحی، ع. مطیع نصرآبادی، س.م. فیروزآبادی، «بررسی میزان تعیین سیگنالهای مغزی در احساسات ICA مثبت، منفی و خنثی در منابع حاصل از الگوریتم فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی پزشکی زیستی، شماره ۲، دوره ۷، صفحه ۱۴۳-۱۵۳، تابستان ۱۳۹۲.
- [13] Y. Wu, X. Zhou, "The P300 and reward valence, magnitude, and expectancy in outcome evaluation," *Brain Res.*, vol. 1286, pp. 114-122, Aug. 2009.
- [14] B. Ernst, M. Steinhauser, "Feedback-related brain activity predicts learning from feedback in multiple-choice testing," *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, vol. 12, pp. 323-336, Jun. 2012.
- [15] G. Hajcak, C.B. Holroyd, J.S. Moser, R.F. Simons, "Brain potentials associated with expected and unexpected good and bad outcomes," *Psychophysiology*, vol. 42, pp. 161-170, Mar. 2005.
- [16] M. Zeiler, "The impact of different positive and negative feedback stimuli on the FRN and P300: A synopsis of three event-related potential studies," M.S. thesis, University of Wien, 2012.
- [17] Y. Zhang, X. Li, X. Qian, X. Zhou, "Brain responses in evaluating feedback stimuli with a social dimension," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 6, pp. 29, Feb. 2012. [purchase this article](#).
- [18] X. Mai, T. Tardif, S.N. Doan, C. Liu, W.J. Gehring, Y.J. Luo, "Brain activity elicited by positive and negative feedback in preschool-aged children," *PLoS ONE*, vol. 6, pp. 1-6, 2011.
- [19] R.S. Martin, "Event-related potential studies of outcome processing and feedback-guided leaning," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 6, pp. 304, Nov. 2012.
- [20] R.D. Pascual-Marqui, C.M. Michel, D. Lehmann, "Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 18, pp. 49-65, Oct. 1994.