The Role of Functional Synchronization of Alpha Waves in Divergent and Convergent Thinking

Emad Aazr, Imanollah Bigdeli*, Ali Ghanaei Chamanabad

Department of Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Article Info:

Received: **1 Dec 2018** ***Revised:*** **24 Dec 2018** ***Accepted*****: 13 Jan 2018**

ABSTRACT

Introduction: Alpha frequency band in the range of 8-12 Hz is associated with cognitive functions, such as creativity. The aim of this study was to examine the activity of the alpha frequency band in two divergent and convergent thinking positions. ***Materials and Methods:*** In accordance to the available sampling and voluntary participation, thirty-eight postgraduate students of the Ferdowsi University of Mashhad (19 males and 19 female) were chosen. Two subjects were excluded from the analysis due to artifacts in their brain waves. This study was a quasi-experimental research with repeated measures. The EEG was recorded during the performance of four tasks (alternative uses test, counting the snakes, counting numbers test, and Missionaries and Cannibals task) in two divergent and convergent thinking. ***Results:*** The findings revealed that there is no significant difference between the activity of alpha waves in the left and right hemispheres in divergent thinking as well as in convergent thinking. In addition, the results of the analysis of variance of repeated measures indicated that in divergent thinking activity of alpha waves in the temporal, central and frontal areas were synchronized, while in the convergent thinking position de-synchronization of alpha waves was observed. ***Conclusion:*** Alpha band power changes in two divergent and convergent thinking positions represented of different functional mechanisms of alpha waves in these two thinking positions in different regions of the brain.

Key words:

1. Electroencephalography
2. Brain
3. Thinking

***Corresponding Author:** Imanollah Bigdeli

E-mail: *ibigdeli@um.ac.ir*

نقش کارکردی همگام‌سازی فعالیت امواج آلفا در تفکر واگرا و همگرا

عماد آذر، ایمان الله بیگدلی*، علی غنائی چمن آباد

گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۰ آذر ۱۳۹۷ **اصلاحیه:** ۳ دی ۱۳۹۷ **تاریخ پذیرش:** ۲۳ دی ۱۳۹۷

چـــــکیده

مقدمه: باند فرکانسی آلفا در محدودهٔ ۱۲-۸ هرتز با کارکردهای شناختی مانند خلاقیت در ارتباط می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی فعالیت باند فرکانسی آلفا در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا بود. ***مواد و روش‌ها:*** بر اساس نمونه‌گیری در دسترس و مشارکت داوطلبانه ۳۸ دانشجوی تحصیلات تکمیلی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۹ مرد و ۱۹ زن) انتخاب شدند. ۲ آزمودنی به دلیل وجود آرتیفکت در امواج مغزیشان از تجزیه و تحلیل حذف گردیدند. این مطالعه یک مطالعهٔ شبه آزمایشی با اندازه‌گیری‌های مکرر می‌باشد. امواج الکتروآنسفالوگرام در طول عملکرد چهار تکلیف (استفاده‌های غیرمعمول، شمارش مارها، آزمون شمارش اعداد و میسونرها و تکالیف آدمخورها) در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا ثبت شد. ***یافته‌ها:*** نتایج نشان داد که بین فعالیت امواج آلفا در نیمکرهٔ چپ و راست در تفکر واگرا و همچنین در تفکر همگرا هیچ گونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. علاوه بر این نتایج تجزیه و تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر نشان داد که فعالیت امواج آلفا در تفکر واگرا در نواحی پیشانی، مرکزی و گیجگاهی با پدیدهٔ همگام‌سازی رو به رو بوده است در حالی که در موقعیت تفکر همگرا ناهمگام‌سازی امواج آلفا مشاهده شد. ***نتیجه‌گیری:*** تغییرات توان باند آلفا در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا نشانگر مکانیسم‌های متفاوت کارکردی امواج آلفا در دو موقعیت تفکر در نواحی مختلف مغز می‌باشد.

کلید واژه‌ها:

۱. الکتروآنسفالوگرام
۲. مغز
۳. تفکر

* **نویسنده مسئول:** ایمان الله بیگدلی

آدرس الکترونیکی: *ibigdeli@um.ac.ir*

مقدمه

تفکر و اندیشه یکی از ویژگی‌های عالی انسان است که به عقیدهٔ دانشمندان، وی را از سایر موجودات متمایز و برتر می‌سازد. گیلفورد دو نوع تفکر واگرا و همگرا را مطرح کرد. به اعتقاد گیلفورد، در تفکر همگرا فرد از فرایندهای ذهنی قالبی که فقط بر حل یک تکلیف تمرکز دارد و به دنبال یک جواب صحیح است و جهت و مسیر مشخصی را پی می‌گیرد، استفاده می‌کند. در مقابل، در برخی از تکالیف ذهنی در طی تفکر واگرا بسیاری از ایده‌های جدید خلق و با بررسی راه‌حل‌های گوناگون از طریق تفکر واگرا و انتخاب مناسب‌ترین راه‌حل با استفاده از تفکر همگرا فرد به حل خلاقانهٔ مسائل دست پیدا می‌کنند (۱).

بررسی مکانیزم‌های عصب روانشناختی خلاقیت یکی از موضوعات مهم در علوم اعصاب می‌باشد. در خصوص مکانیزم‌های عصبی مرتبط با تفکر خلاق مطالعات اندکی صورت گرفته و همین مطالعات اندک و دستاوردهای آن‌ها جایگزین دیدگاه‌هایی شده‌اند که خلاقیت را پدیده‌ای اسرارآمیز می‌دانستند. امروزه دیدگاه‌های علوم شناختی و علوم اعصاب بیان می‌کنند که هر نظریه‌ای در مورد خلاقیت باید سازگار و یکپارچه با درک معاصر ما از کارکردهای مغز باشد. این محققین معتقدند که بالا بردن درک خود از این کارکرد عالی شناختی مستلزم ایجاد یک رویکرد عصب‌شناسی گسترده است (۲). با توجه به اهمیت محوری این قابلیت فوق‌العاده ذهن انسان، این تمایل وجود دارد که مکانیزم‌های عصب‌شناختی پایه‌ای تفکر خلاق موضوع تلاش‌های تحقیقاتی جدی در علوم مغزی و رفتاری قرار گیرند. رویکردهای عصب‌شناسی خلاقیت را به دو صورت تعریف کرده‌اند. در تعریف اول، خلاقیت به‌عنوان توانایی برای تولید کار و آثار ابتکاری و مفید در درون یک زمینهٔ اجتماعی خاص در نظر گرفته شده است و در تعریف دوم خلاقیت را به‌عنوان تولید بینش‌های ارزشمند برای ارتباطات بالقوه مغزی که اساس این حوزه از توانایی‌های ذهنی هستند، تعریف نموده‌اند (۳، ۴). رویکردهای علوم اعصاب در حوزهٔ خلاقیت با استفاده از روش‌های تصویربرداری از مغز فعالیت مغز را در پاسخ به تفکر واگرا (۵، ۶)، در طول حل مسائل بینشی یا تجربهٔ ذهنی آها!! که در آن راه‌حل مسئلهٔ مورد نظر به صورت ناگهانی به ذهن فرد می‌رسد (۷) و همچنین در طول تکالیف کلاسیک خلاقیت مانند آزمون استفاده‌های غیرمعمول[1] (۸) و در رابطه با خلاقیت موسیقیایی یا هنرهای دیداری مورد بررسی قرار داده‌اند (۹).

جنبه‌های مختلف اساسی و پایه‌ای ارتباطات مغزی شناخت خلاق عمدتاً با به‌کارگیری روش‌های الکتروانسفالوگرام (EEG)[2] بررسی شده است که فعالیت الکتریکی مغز را ثبت می‌کند. فعالیت امواج EEG را می‌توان با روش‌های مختلف اندازه‌گیری کرد و بسیاری از این روش‌ها تا به امروز به صورت موفقیت‌آمیزی در تحقیقات خلاقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش‌ها در برگیرندهٔ پارامترهای متنوعی نظیر ارزیابی تغییرات طیف توان در باندهای فرکانسی مختلف EEG، روش پتانسیل‌های وابسته به رویداد و همچنین تجزیه و تحلیل اتصالات کارکردی بین نواحی قشری مختلف می‌باشد. سیگنال‌های EEG نشان‌دهندهٔ نوسانات مشاهده شده در طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها است که معمولاً به باندهای فرکانسی متمایزی از جمله باند دلتا (۴-۱ هرتز)، تتا (۸-۴ هرتز)، آلفا (۱۲-۸ هرتز) و بتا (۳۰-۱۳ هرتز) تقسیم‌بندی می‌شوند. تجزیه و تحلیل‌های طیف EEG می‌تواند برای محاسبهٔ توان باندهای فرکانسی خاص در دوره‌های زمانی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، تغییرات توان وابسته به رویداد می‌تواند از طریق مقایسهٔ توان در یک باند فرکانسی مشخص در طول یک تکلیف شناختی با یک فاصلهٔ مرجع مورد اندازه‌گیری قرار داد.

تغییرات فعالیت در باندهای فرکانسی مختلف EEG منعکس‌کنندهٔ جنبه‌های مختلف فعالیت‌های شناختی است. در دوره‌های استراحت، فرکانس EEG در محدودهٔ باند آلفا (۱۲-۸ هرتز) در طیف EEG غالب می‌شود. این پدیده یعنی افزایش توان آلفا[3] تحت عنوان همگام‌سازی[4] EEG نام‌گذاری شده است. در مقابل، در هنگام انجام تکالیف شناختی معمولاً توان باند آلفا در برابر افزایش دیگر فرکانس‌ها در طیف EEG کاهش می‌یابد که این پدیدهٔ ناهمگام‌سازی[5] EEG نامیده می‌شود. فعالیت امواج آلفا فعالیت نوسانی غالب مغز انسان است (۱۰). این فعالیت با کارکردهای شناختی پایه مانند توجه و حافظه (۱۱) و همچنین با فرایندهای شناختی پیچیده‌تر مانند تفکر واگرا در ارتباط است (۱۰). همگام‌سازی امواج آلفا عمدتاً به‌عنوان همبستگی کارکردی از حالت غیرفعال قشری[6] در نظر گرفته می‌شود و منعکس‌کنندهٔ کاهش پردازش فعال اطلاعات در شبکه‌های عصبی است (۱۲). بررسی‌های مارتیندال و مایننس[7] نشان داده است که افراد با خلاقیت بالا فعالیت امواج آلفا بالاتری را نسبت به افراد با خلاقیت پایین نشان می‌دهند (۱۳). در مطالعه‌ای دیگر فینک و نئوبائر[8] گزارش کردند که تفکر خلاق به طور کلی در ارتباط با سطوح پایین انگیختگی قشری است (۱۴). با این حال در مطالعات زیادی نشان داده شده است که همگام‌سازی فعالیت آلفا منحصراً منعکس‌کنندهٔ حالت غیرفعال قشری نیست، بلکه

[1] Unusual uses test
[2] Electroencephalogram
[3] Alpha power
[4] Synchronization
[5] De- synchronization
[6] Cortical idling
[7] Martindale and Mines
[8] Neubauer

همگام‌سازی آلفا به نظر می‌رسد که با خواسته‌های پردازش درونی مرتبط باشد (۱۵). در این راستا کوپر و همکاران فعالیت امواج مغزی در تکالیف نیازمند پردازش حسی محرک‌های دیداری، لامسه و صوتی را با شرایطی که نیازمند تصویرسازی ذهنی[9] از این محرک‌ها بود، مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که توجه هدایت شدهٔ درونی[10] در تکالیف تصویرسازی ذهنی، توان[11] آلفای قوی‌تری نسبت به توجه هدایت شدهٔ بیرونی در تکالیف دریافت -حسی[12] به همراه داشت (۱۵).

تا به امروز مطالعات مختلفی از روش همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد به‌منظور بررسی خلاقیت و دیگر کارکردهای شناختی استفاده کرده‌اند. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که توان آلفا در طول تفکر خلاق به‌عنوان یک کارکرد از تفاوت‌های فردی در خلاقیت (۱۴) و به‌عنوان یک کارکرد از اصالت ایده‌های خلاقانه متفاوت می‌باشد (۱۶). در مطالعاتی که از روش تحریک جریان متناوب فراجمجمه‌ای (TACS)[13] استفاده کردند به این نتیجه دست یافتند که عملکرد خلاقیت هنگامی که ناحیهٔ پیشانی[14] مغز در فرکانس ۱۰ هرتز آلفا تحریک شود با افزایش فعالیت همراه می‌باشد (۱۷). در مطالعات مختلف که از رویکردهای متنوع روش‌شناسی استفاده کردند، دریافتند که فعالیت آلفا در ارتباط با عملکرد افراد در تکالیف مربوط به خلاقیت است (۱۸). با وجود مطالعات نسبتاً نادر انجام گرفته در این حوزه از تحقیقات، شواهد تجربی موجود ممکن است اطلاعات ارزشمندی را در مورد همبسته‌های بالقوهٔ مغزی تفکر خلاق آشکار سازد. به‌عنوان مثال، فعالیت EEG در باند فرکانسی آلفا ثابت شده است که به خواسته‌های[15] مربوط به خلاقیت نسبتاً حساس است (۱۹). از این رو، بر اساس یافته‌های موجود در این زمینه می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت باند فرکانسی آلفا به‌عنوان یک کارکرد از خواسته‌های خلاق مربوط به تکلیف (بالاتر بودن سطح فعالیت EEG در تکالیف با خواسته‌های خلاق بیشتر)، به‌عنوان یک کارکرد از ابتکاری بودن ایده‌های تولید شده (۲۰) و همچنین به‌عنوان یک کارکرد از تفاوت‌های فردی در خلاقیت (فعالیت آلفا بیشتر در افراد خلاق در مقایسه با افراد با خلاقیت پایین) متفاوت می‌باشد (۲۱).

با وجود دستاوردهای قابل قبول و ارزشمند در ارتباط با فعالیت EEG در باند فرکانسی آلفا در حوزهٔ تحقیقات مربوط به خلاقیت و همچنین استفاده از روش‌شناسی‌های متفاوت در تجزیه و تحلیل امواج مغز در نواحی مختلف مغزی با استفاده از تکالیف شناختی مختلف سعی در درک مبانی ساختاری و ارتباطی این کارکرد عالی شناختی داشته‌اند. از این رو با توجه به نقش ویژهٔ تکالیف مورد استفاده در اندازه‌گیری تغییرات توان باند آلفا در موقعیت‌های تفکر واگرا و همگرا و با عنایت به نقش‌های متفاوت نواحی مختلف مغزی در فرایندهای شناختی واگرا و همگرا در تکالیف مختلف که بیانگر سازماندهی کارکردی امواج مغزی در فرایندهای شناختی متفاوت است، در این پژوهش به دنبال بررسی تغییرات توان باند فرکانسی آلفا در نواحی پیشانی، گیجگاهی، مرکزی و همچنین تغییرات فعالیت امواج آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ مغز بوده‌ایم. با توجه به نقش محوری فعالیت امواج آلفا در تفکر واگرا و همچنین نقش کارکردی این امواج و همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی آن در طول فرایندهای شناخت خلاق، مسئلهٔ مورد نظر در این پژوهش، بررسی تفاوت‌های همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در طول انجام تکالیف تفکر واگرا و همگرا در نواحی مختلف مغز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از حیث هدف جزء پژوهش‌های کاربردی و از منظر روش، شبه آزمایشی از نوع اندازه‌گیری‌های مکرر می‌باشد. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر در برگیرندهٔ دانشجویان تحصیلات تکمیلی مشغول به تحصیل در دانشگاه فردوسی مشهد در سال تحصیلی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ می‌باشد. روش نمونه‌گیری از نوع دسترس و داوطلبانه بود، بدین صورت که از میان دانشکده‌های مختلف به صورت در دسترس به افراد پرسشنامه برتری جانبی ارائه شد و از میان این افراد و با توجه به ادبیات پژوهشی و همچنین پیش‌بینی افت در تعداد آزمودنی‌ها و با در نظر گرفتن نمونه‌های آماری مورد استفاده در سایر مطالعات پژوهشی تعداد ۳۸ نفر (۱۹ مرد، ۱۹ زن) راست برتر انتخاب شدند. ۲ آزمودنی به دلیل عدم ارائهٔ کوشش‌های کافی و صحیح و به دلیل وجود آرتیفکت در نوار مغزیشان از تجزیه و تحلیل حذف شدند. در نهایت با توجه به ریزش موجود در تعداد آزمودنی‌ها، تعداد نمونه‌هایی که امواج مغزیشان در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت شامل ۳۶ نفر (۱۸ زن و ۱۸ مرد) می‌باشد.

ابزارهای پژوهش

پرسشنامهٔ برتری جانبی

این پرسشنامه توسط صبوری مقدم ساخته شده است که دارای ۸ آیتم می‌باشد که هرکدام جنبه‌ای از برتری جانبی را می‌سنجد. این پرسشنامه با سه درجه راست برتر، چپ برتر و عدم برتری جانبی نمره‌گذاری می‌شود. افرادی که در ۷ مورد از ۸ مورد به گزینهٔ راست برتر اشاره کرده‌اند، به‌عنوان آزمودنی انتخاب شدند (۲۲).

[9] Mental imanigation
[10] Internally-directed attention
[11] Power
[12] Sensory-intake tasks
[13] Transcranial alternating current stimulation
[14] Frontal
[15] Demands

الکتروانسفالوگرافی کمی

در الکتروانسفالوگرافی کمی (QEEG)[16] به‌منظور ثبت امواج مغزی از آمپلی‌فایر Mitsar و از کلاه Electrocap که شامل ۱۹ الکترود می‌باشد استفاده شد که منطبق با سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ می‌باشد. برای تحلیل کمی نیز با استفاده از یک فرایند ریاضی پیچیده (FFT)، امواج ثبت شده به عدد و اعداد نیز به نوبهٔ خود به صورت آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

تکلیف میسیونرها و آدمخورها

این تکلیف شامل انتقال سه میسیونر و سه آدمخور به وسیلهٔ یک قایق از یک طرف رودخانه به طرف دیگر آن می‌باشد. در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد تا این تکلیف را حل کنند:"چگونه می‌توان همهٔ میسیونرها و آدمخورها را از یک طرف رودخانه به سمت دیگر آن حمل کرد، با این توضیح که قایق در یک لحظه می‌تواند فقط دو نفر را حمل کند و نباید در هیچ طرف رودخانه تعداد آدمخورها بیشتر از مسیونرها باشد. کمترین تعداد حرکات مورد نیاز برای حل این تکلیف ۱۱حرکت می‌باشد (۱). برای انجام این تکلیف از نسخهٔ رایانه‌ای آن استفاده شد تا آزمودنی بتواند به صورت کاملاً عینی این تکلیف را انجام دهد. برای انجام این تکلیف به آزمودنی ۵ دقیقه فرصت داده شد.

تکلیف شمارش اعداد

در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود تا از عدد ۶ شروع کنند و اعداد متوالی را با فاصلهٔ ۷ عدد بنویسند و بعد از ۵ دقیقه جواب به دست آمده را بازگو کنند (۶).

تکلیف شمارش مارها

در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد که این مسئله را حل کنند: در جنگلی صدها مار سمی وجود دارد، چه راه‌هایی وجود دارد تا طول مارها را اندازه بگیریم؟ از آزمودنی‌ها خواسته شد که هر روشی را که به ذهنشان می‌رسد را بازگو کنند (۲۳). برای این تکلیف به آزمودنی‌ها ۵ دقیقه وقت داده شد.

تکلیف استفاده‌های غیرمعمول

این تکلیف در دههٔ ۱۹۵۰ توسط گیلفورد برای ارزیابی تفکر واگرا ساخته شد. در این تکلیف آزمودنی‌ها باید به استفاده‌های ابتکاری و غیرمعمول اشیاء معمولی روزمره مانند قوطی، آجر، خودکار، جوراب فکر می‌کردند (۲۴). در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد که موارد استفاده و کاربرد هر کدام از کلمات ارائه شده را تا جایی که به ذهنشان می‌رسد بازگو کنند. برای هر کدام از این کلمات به آزمودنی ۳ دقیقه وقت داده شد و از آزمودنی خواسته شد به ازای هر جوابی که به ذهنش می‌رسد در ابتدا کلید Space را جهت ثبت زمان پاسخ فشار داده و سپس جواب مورد نظر خود را بازگو کند.

روش اجرای پژوهش

در این پژوهش ابتدا با استفاده از پرسشنامهٔ برتری جانبی افراد راست برتر انتخاب و آزمودنی‌هایی که از لحاظ بینایی طبیعی و سابقهٔ هیچ‌گونه اختلالات روانشناختی و همچنین مصرف داروهای روانپزشکی را نداشته‌اند و رضایت آگاهانهٔ خود را برای شرکت در این پژوهش ابراز کردند به‌عنوان گروه نمونه انتخاب شدند. در ابتدا قبل از شروع فرایند ثبت EEG توضیحات کاملی در ارتباط با نحوهٔ ثبت و همچنین تهاجمی نبودن و عدم آسیب‌رسانی این روش به آزمودنی‌ها داده شد. EEG توسط آمپلی‌فایر Mitsar ثبت شد و الکترودهای مخصوص ثبت استاندارد EEG بر اساس سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ در ۱۹ موقعیت شامل (Fp1، Fp2، F7، F3، Fz، F4، F8، T3، C3، Cz، C4، T4، T5، P3، Pz، P4، T6، O1، O2) روی جمجمه قرار گرفته و تثبیت آن‌ها بر روی سر به وسیلهٔ کپ مخصوص EEG صورت گرفت. سیگنال‌های EEG بین یک دهم تا ۷۰ هرتز فیلتر و امپدانس الکترودها نیز زیر ۵ کیلو اهم نگه داشته شد.

تکالیف استفاده شده در این پژوهش در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا به آزمودنی‌ها ارائه شد. درموقعیت تفکر واگرا تکلیف استفاده‌های غیرمعمول و شمارش مارها و در موقعیت تفکر همگرا تکلیف میسیونرها و آدمخورها و شمارش اعداد به آزمودنی‌ها ارائه شد. در ابتدا دستورالعمل‌های هر تکلیف بر روی صفحه کامپیوتر ارائه و از آزمودنی خواسته شد که هر زمان دستورالعمل‌های داده شده را به صورت کامل متوجه شدند کلید Space را به‌منظور شروع تکلیف فشار دهند. لازم به ذکر است که قبل از شروع تکالیف یک فیکسیشن کراس[17] (+) ۱۵ ثانیه‌ای بر روی صفحه نمایش رایانه ارائه و از آزمودنی خواسته شد که به این فیکسیشن کراس توجه کند. پس از ۱۵ ثانیه این علامت به صورت خودکار ناپدید و تکلیف اصلی به آزمودنی ارائه شد. بنابراین تمامی تکالیف با ارائهٔ یک فیکسیشن کراس ۱۵ ثانیه‌ای شروع شدند که در مرحلهٔ تحلیل داده‌ها برای ارزیابی قدرت مرجع پیش محرک به کار گرفته شد. در هنگام ارائهٔ تکالیف تفکر واگرا به آزمودنی‌ها آموزش داده شد که کلید Space را هر زمان که ایده‌ای در مورد آیتم‌های ارائه شده بر روی صفحه نمایش داشتند فشار داده و ایدهٔ مورد نظر خود را بازگو کنند. این کار به‌منظور ثبت دقیق زمانی بود که فرد ایده به ذهنش رسیده است. در تکلیف استفاده‌های غیرمعمول چهار کلمهٔ آجر، جوراب، خودکار و قوطی هر کدام به مدت ۳ دقیقه به آزمودنی ارائه شد و پس از اتمام نمایش هر محرک مجدداً یک فیکسیشن کراس ۱۵ ثانیه‌ای ارائه می‌شد و

[16] Quantitative electroencephalography
[17] Fixation cross

پس از توجه آزمودنی به آن مجدداً محرک بعدی بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شد. همچنین در تکلیف شمارش مارها علاوه بر اینکه تکلیف با ارائهٔ یک فیکسیشن شروع می‌شد، از آزمودنی خواسته شد که هر زمان ایده‌ای به ذهنش رسید دکمهٔ Space را فشار دهد، پس از آن مجدداً فیکسیشن ارائه و پس از توجه آزمودنی به آن مجدداً مشغول به تفکر برای ارائهٔ راه‌حل‌های متنوع دیگر برای این تکلیف می‌شد. در مقابل در تکالیفی که در موقعیت تفکر همگرا به آزمودنی ارائه شد، پس از ارائهٔ دستورالعمل‌های کامل بر روی صفحه نمایش، آزمون با ارائهٔ یک فیکسیشن کراس ۱۵ ثانیه‌ای شروع و از آزمودنی خواسته می‌شد که با توجه به دستورالعمل داده شده تکالیف ارائه شده را انجام دهد.

در تجزیه و تحلیل داده‌ها برای اندازه‌گیری فعالیت مغز در طول عملکرد تکالیف آزمایشی از تغییرات توان وابسته به تکلیف[18] در EEG استفاده شد. توان وابسته به تکلیف در یک الکترود از طریق تفاضل فاصلهٔ توان در طول مرجع پیش محرک (توان مرجع) از توان در طول فاصلهٔ فعالسازی (توان فعالسازی) بر اساس فرمول زیر به دست آورده شد.

$$TRP(\log Pow_{\ i}) = \log\left[Pow_{\ i(activation)}\right] - \log\left[Pow_{\ i(reference)}\right]$$

در صورتی که مقادیر به دست آمده از این فرمول بیانگر مقادیر منفی باشد، نشان‌دهندهٔ کاهش توان از فاصلهٔ مرجع به فاصلهٔ فعالسازی است که به‌عنوان ناهمگام‌سازی در نظر گرفته می‌شود، در حالی که افزایش در توان از فاصلهٔ مرجع به فاصلهٔ فعالسازی با مقادیر مثبت نشان داده می‌شود و به‌عنوان همگام‌سازی در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور برآورد فعالسازی توان[19] و مرجع توان[20] در هر الکترود یک فاصلهٔ زمانی ۱۳ ثانیه‌ای در طی ارائهٔ فیکسیشن کراس به‌عنوان فاصلهٔ مرجع پیش محرک برای محاسبهٔ میزان توان وابسته به تکلیف به کار گرفته شد. لازم به ذکر است که در تکلیف میسیونرها و آدمخورها و شمارش اعداد تمامی دوره‌ای را که آزمودنی‌ها مشغول به انجام این تکالیف بودند به‌عنوان فاصلهٔ فعالسازی در نظر گرفته شد. در مقابل در تکلیف استفاده‌های غیرمعمول و شمارش مارها یک پنجرهٔ زمانی هزار میلی‌ثانیه‌ای به صورت مستقیم قبل از فشار کلید Space به‌عنوان فاصلهٔ فعالسازی در تجزیه و تحلیل‌های EEG مورد استفاده قرار گرفت. برای هر دو دورهٔ فعالسازی و دورهٔ مرجع، داده‌های EEG با دقت به‌منظور شناسایی و حذف آرتیفکت‌های حاصل از تنش عضلانی، چشمک زدن و حرکات چشم مورد بررسی قرار گرفت. پس از شناسایی و حذف آرتیفکت‌ها سیگنال‌های EEG با استفاده از روش تبدیل سریع فوریه[21] برای تجزیه و تحلیل باند فرکانس آلفا (۱۲-۸ هرتز) فیلتر شدند. به دنبال این مرحله توان باند از طریق مجذور سیگنال‌های EEG فیلتر شده به دست آورده شد و همچنین مقادیر توان باند (μV^2) برای هر دو دورهٔ مرجع پیش محرک و فواصل فعالسازی محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های کمی به دست آورده شده حاصل از ثبت امواج با استفاده از نرم‌افزار Matlab (R2014b) تجزیه و تحلیل گردید. مونتاژی که برای تحلیل استفاده شد مونتاژ مرجعی بود که در آن الکترودهای مرجع بر روی دو گوش نصب شدند. داده‌ها با استفاده از روش تبدیل سریع فوریه به صورت باندهای FFT به شکل کمی در چهار گروه امواج آلفا، بتا، تتا و دلتا مشخص گردیدند. پس از حذف آرتیفکت‌ها اطلاعات کمی به دست آمده در باند فرکانسی آلفا به‌منظور تحلیل آماری وارد نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۱ شد. با استفاده از این نرم‌افزار آمار توصیفی و آمار استنباطی مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. در بخش آمار توصیفی از روش‌های میانگین و انحراف معیار استفاده شد. در بخش آمار استنباطی با توجه به ماهیت طرح مورد استفاده برای مشخص کردن تفاوت همگام‌سازی امواج آلفا در نواحی مختلف مغز از آزمون t زوجی، تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر و آزمون تعقیبی LSD استفاده گردید.

یافته‌ها

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، میانگین نمرات امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا در نیمکرهٔ راست و چپ مغز به ترتیب ۰/۱۷۳ و ۰/۱۶۸ می‌باشد. مقادیر مثبت به دست آمده از میانگین امواج آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ نشان‌دهندهٔ همگام‌سازی امواج آلفا در هر دو نیمکرهٔ مغز می‌باشد، به صورتی که میزان فعالیت امواج آلفا مغز در هر دو نیمکرهٔ مغز افزایش را نشان داده است. در مقابل در موقعیت تفکر همگرا میانگین نمرات امواج آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ مغز به ترتیب ۰/۰۶۹- و ۰/۰۶۴- می‌باشد. مقادیر منفی به دست آمده از توان باند آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ نشان‌دهندهٔ ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد موج آلفا در موقعیت تفکر همگرا است، به نحوی که با کاهش توان باند آلفا میزان فعالیت امواج آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ با کاهش همراه بوده است.

به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن تغییرات توان باند آلفا از آزمون t زوجی استفاده گردید که نتایج حاصل از این آزمون آماری بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین نمرات در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا در دو نیمکرهٔ راست و چپ مغز است. از این رو می‌توان گفت که در موقعیت تفکر واگرا هر دو نیمکرهٔ مغز با افزایش فعالیت همراه بوده به صورتی که این افزایش

[18] Task-related power
[19] Power activation
[20] Power reference
[21] Fast fourier transform

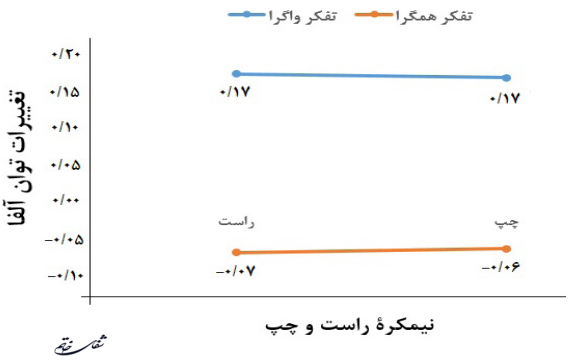
جدول ۱- شاخص‌های توصیفی مربوط به فعالیت امواج آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ در دو موقعیت تفکر همگرا و واگرا.

متغیر			تعداد	میانگین	انحراف معیار
امواج آلفا	تفکر واگرا	نیمکرهٔ راست	۳۶	۰/۱۷۳	۰/۱۸۰
		نیمکرهٔ چپ	۳۶	۰/۱۶۸	۰/۱۸۵
	تفکر همگرا	نیمکرهٔ راست	۳۶	-۰/۰۶۹	۰/۱۶۱
		نیمکرهٔ چپ	۳۶	-۰/۰۶۴	۰/۱۵۱

فعالیت تا حدودی به نفع نیمکرهٔ راست مغز می‌باشد و در موقعیت تفکر همگرا هر دو نیمکرهٔ مغز با کاهش فعالیت امواج آلفا و به عبارت دیگر با ناهمگام‌سازی روبه‌رو بوده است (جدول ۲). به‌منظور درک روشن‌تر تغییرات توان باند آلفا در دو نیمکرهٔ راست و چپ مغز در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا نتایج حاصل در نمودار ۱ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون t زوجی در جهت مقایسهٔ میزان همگام‌سازی امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا و همگرا در نیمکرهٔ راست و چپ مغز.

متغیر			درجهٔ آزادی	سطح معنی‌داری	T
امواج آلفا	تفکر واگرا	نیمکرهٔ راست نیمکرهٔ چپ	۳۵	۰/۶۱۹	۰/۵۰۲
	تفکر همگرا	نیمکرهٔ راست نیمکرهٔ چپ	۳۵	۰/۷۶۰	-۰/۳۰۸



نمودار ۱- تغییرات توان باند فرکانسی آلفا در نیمکرهٔ راست و چپ در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا.

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول توصیفی ۳ به بررسی تغییرات توان باند آلفا در ناحیهٔ پیشانی در مقایسه با نواحی مرکزی و گیجگاهی پرداخته شد. نتایج حاصل از تغییرات توان باند آلفا در نواحی ذکر شده در نمودار ۲ آورده شده است.

به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت تغییرات توان امواج آلفا در ناحیهٔ پیشانی نسبت به نواحی مرکزی و گیجگاهی از آزمون تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر استفاده شد (جدول ۴).

بدین منظور در ابتدا آزمون کرویت موخلی برای اطمینان از رعایت شدن فرض همسانی کواریانس در سه ناحیهٔ مغزی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه سطح معنی‌داری مقدار محاسبه شدهٔ کرویت موخلی کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد ($W=۰/۴۹۶، X^2=۲، P=۰/۰۰۱$) داده‌ها مفروضهٔ همگنی کواریانس‌ها را زیر سوال برده و یا به عبارت دیگر پیش فرض برابری کواریانس برای نواحی مغزی در دو موقعیت تفکر همگرا و واگرا رعایت نشده است. بنابراین با استفاده از آزمون گرین هاوس -گایزر[۲۲] درجهٔ آزادی تعدیل شد ($G=۰/۶۶۵$).

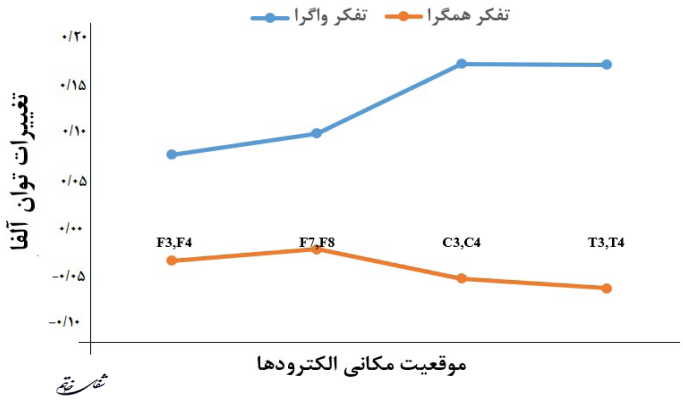
به‌منظور مشخص کردن تفاوت فعالیت امواج آلفا در بین سه ناحیهٔ پیشانی، مرکزی و گیجگاهی نیز از آزمون تعقیبی LSD استفاده گردید. جدول ۵ نتایج حاصل از مقایسهٔ بین میانگین نمرات امواج آلفا در نواحی مغزی ذکر شده در آزمون تعقیبی LSD را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، تفاوت معنی‌داری

جدول ۳- شاخص‌های توصیفی مربوط به فعالیت امواج آلفا به تفکیک نواحی مغزی و نوع تفکر.

متغیر		تعداد	میانگین	انحراف معیار
امواج آلفا	ناحیهٔ پیشانی در تفکر همگرا	۳۶	-۰/۰۳۵	۰/۰۹۱
	ناحیهٔ پیشانی در تفکر واگرا	۳۶	۰/۰۷۶	۰/۱۴۲
	ناحیهٔ مرکزی در تفکر همگرا	۳۶	-۰/۰۵۴	۰/۱۷۳
	ناحیهٔ مرکزی در تفکر واگرا	۳۶	۰/۱۷۱	۰/۱۸۰
	ناحیهٔ گیجگاهی در تفکر همگرا	۳۶	-۰/۰۶۴	۰/۱۳۵
	ناحیهٔ گیجگاهی در تفگر واگرا	۳۶	۰/۱۷۰	۰/۱۸۱

[22] Greenhouse-geisser



نمودار ۲- مقایسهٔ تغییرات توان باند آلفا در نواحی پیشانی، مرکزی و گیجگاهی در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا.

جدول ۴- خلاصهٔ تحلیل واریانس به‌منظور بررسی فعالیت امواج آلفا در نواحی مختلف مغزی و نوع تفکر.

متغیر	منابع تغییر	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری	اندازهٔ اثر
لوب	شرایط	۰/۰۵۷	۱/۷۱۱	۰/۰۳۳	۴/۰۲۲	۰/۰۲۹	۰/۱۱۲
	خطا	۰/۴۵۶	۵۹/۸۸۵	۰/۰۰۸			
تفکر	شرایط	۱/۸۰۴	۱/۰۰	۱/۸۰۴	۳۱/۷۶۵	۰/۰۰۱	۰/۴۹۸
	خطا	۱/۸۱۷	۳۵/۰۰	۰/۰۵۷			
لوب× تفکر	شرایط	۰/۱۵۶	۱/۴۲۸	۰/۱۱۷	۹/۶۴۳	۰/۰۰۲	۰/۲۳۲
	خطا	۰/۵۱۷	۴۹/۹۶۷	۰/۰۱۲			

جدول ۵- مقایسهٔ بین میانگین‌های نمرات فعالیت امواج آلفا در نواحی مختلف مغزی.

متغیر	شرایط (I)	شرایط (J)	تفاوت میانگین (I-J)	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری
لوب	ناحیهٔ پیشانی	ناحیهٔ مرکزی	-۰/۰۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹
		ناحیهٔ گیجگاهی	-۰/۰۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۳۶
	ناحیهٔ مرکزی	ناحیهٔ پیشانی	۰/۰۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹
		ناحیهٔ گیجگاهی	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۶۵۵
	ناحیهٔ گیجگاهی	ناحیهٔ پیشانی	۰/۰۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۳۶
		ناحیهٔ مرکزی	-۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۶۵۵

بین میانگین نمرات فعالیت امواج آلفا در ناحیهٔ پیشانی در مقایسه با نواحی مرکزی (P=۰/۰۲۹، d=-۰/۰۳۸) و گیجگاهی (P=۰/۰۳۶، d=-۰/۰۳۳) وجود دارد و این بدین معنی است که در ناحیهٔ پیشانی همگام‌سازی امواج آلفا رخ داده است که نشان‌دهندهٔ افزایش در میزان فعالیت امواج آلفا است. از سوی دیگر باید گفت که در ناحیهٔ مرکزی و گیجگاهی با توجه به مقادیر منفی مشاهده در تفاوت میانگین‌های نمرات امواج آلفا ناهمگام‌سازی در موج آلفا رخ داده است که خود نشان از کاهش فعالیت امواج آلفا در نواحی ذکر شده دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده حاصل از اجرای تکالیف در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا نشان‌دهندهٔ الگوهای متفاوت فعالیت امواج آلفا در نواحی مختلف مغز می‌باشند. در راستای تبیین نتایج به دست آمده ذکر چندین نکته ضروری به نظر می‌رسد. همگام‌سازی وابسته به رویداد مشاهده شدهٔ امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا به صورت سنتی به‌عنوان همبستگی کارکردی از حالت غیرفعال قشری[23] در نظر گرفته می‌شود که احتمالاً منعکس کنندهٔ کاهش پردازش فعال اطلاعات در شبکه‌های عصبی است (۱۲). یک تفسیر ممکن بر اساس این دیدگاه می‌تواند این باشد که تولید ایده‌های اصیل و ابتکاری با سطوح پایینی از فعالیت و انگیختگی مغز همراه است. مول و همکاران معتقدند که تفکر واگرا و همگرا، دو نوع روش اساسی پردازش مغزی می‌باشند. آن‌ها در پژوهشی برای تفکیک قائل شدن بین این دو نوع تفکر و به دلیل پیچیدگی ابعادی از EEG استفاده کردند. آن‌ها در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که پیچیدگی در ابعاد EEG در طی تفکر واگرا در

[23] Cortical idling

مقایسه با تفکر همگرا بیشتر بود. ازاین رو می‌توان این نتیجه را براساس دیدگاه هب[۲۴] مبنی بر اینکه نورون‌ها به‌عنوان واحدهای پردازشی که مولد امواج هستند، در نظر گرفت. بر اساس این دیدگاه می‌توان گفت که پیچیدگی EEG در طی تفکر واگرا در مقایسه با تفکر همگرا می‌تواند نتیجهٔ فعالیت همزمان تعداد زیادی از واحدهای پردازشی باشد که به صورت مستقل در نوسان بوده‌اند (۵).

بر اساس نظریهٔ مارتیندال فرایندهای شناختی اولیه، توجه غیرمتمرکز و تداعی‌های سلسله مراتبی به احتمال زیاد زمانی رخ می‌دهند که افراد در یک حالت انگیختگی قشری پایینی قرار داشته باشد. در این راستا مارتیندال در یک پژوهش شواهدی را گزارش کرد که افراد با خلاقیت بالا در مقایسه با افراد با خلاقیت پایین انگیختگی قشری نسبتاً پایینی را نشان دادند. در حالی که افراد با خلاقیت متوسط و پایین از لحاظ قشری انگیختگی بالایی را در تمام تکالیف آزمایشی نشان دادند. مارتیندال در پژوهش خود به این نتیجه دست یافت که تولید ایده‌های اصیل و ابتکاری به احتمال زیاد هنگامی رخ می‌دهد که افراد در حالت انگیختگی قشری پایین که با فعالیت زیاد امواج آلفا همراه است، قرار داشته باشند (۲۵). نقطهٔ مقابل همگام‌سازی، پدیدهٔ ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد در باند فرکانسی آلفا است و منعکس‌کنندهٔ افزایش سطح تحریک‌پذیری نورون‌ها در نواحی قشری است که این افزایش سطح تحریک‌پذیری می‌تواند به افزایش انتقال اطلاعات در مدارهای تالاموکورتیکال مربوط شود. ناهمگام‌سازی مشاهده شده در طول انجام تکالیف تفکر همگرا در نواحی خلفی مغز می‌تواند نشان‌دهندهٔ خواسته‌های قوی‌تر در سیستم بینایی در طول این نوع از پردازش اطلاعات باشد که این خود می‌تواند نشانه‌ای از فرایندهای پردازشی صعودی[۲۵] یا محرک محور باشد که بیشتر با ناهمگام‌سازی در باند فرکانسی آلفا همراه هستند.

نکتهٔ دیگری را که می‌توان در رابطه با این تفاوت فعالیت در نظر گرفت ظرفیت حافظه و یا درگیری قوی‌تر حافظهٔ کاری در موقعیت تفکر واگرا است. بدین صورت که موقعیت تفکر واگرا نیازمندی بیشتری به درگیرشدن حافظهٔ کاری به‌منظور نگهداری و بازترکیب اطلاعات دارد، در صورتی که در موقعیت تفکر همگرا درگیری حافظهٔ کاری کمتر است، چرا که در این موقعیت ذخیره‌سازی یا عملکرد حافظهٔ کاری از طریق پردازش صعودی محرک‌ها کاهش می‌یابد و بیشتر حافظهٔ بلندمدت به‌منظور بازیابی اطلاعات و ارائهٔ راه‌حل‌های مورد نیاز درگیر است. دلیل محتمل دیگری که برای این اختلاف آشکار می‌توان مطرح کرد در روش پردازش مربوط به تکالیف به کار برده شده است؛ بدین صورت که در تکالیف تفکر واگرا افراد نیازمند حفظ و دستکاری اطلاعات ارائه شده بودند، در صورتی که در هنگام انجام تکالیف تفکر همگرا افراد نیازمند حفظ و ثابت نگاه شدن توجه هدایت شدهٔ بیرونی هستند که این موضوع خود در افزایش ناهمگام‌سازی آلفا در زمان ذخیره‌گذاری یا عملکرد حافظه در تکالیفی که نیازمند حفظ توجه هدایت شدهٔ بیرونی بوده‌اند، مشاهده شده است (۲۶).

افزایش فعالیت مشاهده شده در دو نیمکرهٔ مغز را می‌توان با فرضیه‌ای که در مورد یکپارچگی کارکردی مغز در طی مسائل پیچیده و پدیدهٔ آها! و همچنین در موقعیت تفکر واگرا توسط میران[۲۶] مطرح شده است نیز توجیه کرد. میران تفکر را به‌عنوان ایجاد تغییر در محرک‌های تحریکی و بازدارنده بین دو نیمکره در نظر می‌گیرد که این مفهوم توسط یافته‌های ما در این فرضیه در طی تفکر واگرا تأیید شده است که در طول تفکر واگرا اشاره به ارتباط بین تعداد زیادی از نواحی فاصله‌دار در هر دو نیمکره دارد. همچنین نتایج این فرضیه را می‌توان تأییدی بر عقیدهٔ نیکولائنکو[۲۷] دانست که معتقد است نیمکره‌ها در کارکردهای شناختی مانند خلاقیت می‌توانند مکمل یکدیگر باشند. همچنین نظریهٔ لزاک[۲۸] که معتقد است در تفکر خلاق همکاری دو طرفه در عملکرد مغز دیده می‌شود را نیز مورد تأیید قرار می‌دهد. هیلمن[۲۹] نیز مطرح کرد که آکسون‌های میلینه در مغز هم ارتباطات درون نیمکره‌ای و هم ارتباطات بین نیمکره‌ای را تسهیل می‌کند که هر دو نوع این ارتباط احتمالاً برای تفکر واگرا مهم می‌باشد. بنابراین با توجه به مطلب ذکر شده همگام‌سازی مشاهده شده در طی تفکر واگرا بین دو نیمکرهٔ مغز نشانگر این ارتباطات نورونی گسترده می‌باشد (۱).

نتایج حاصل از تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا در ناحیهٔ پیشانی در مقایسه با موقعیت تفکر همگرا تفاوت معنی‌داری دارد؛ به صورتی که در موقعیت تفکر واگرا همگام‌سازی امواج آلفا در ناحیهٔ پیشانی مشاهده شد که این همگام‌سازی نشان از افزایش فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا دارد. از سوی دیگر در موقعیت تفکر همگرا در ناحیهٔ پیشانی پدیدهٔ ناهمگام‌سازی امواج آلفا رخ داده است که نشان از کاهش یافتن فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر همگرا در ناحیهٔ پیشانی دارد. در ارتباط با تفاوت معنی‌دار مشاهده شده در لوب پیشانی در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که آزمودنی‌ها در موقعیت تفکر واگرا احتمالاً به صورت انطباقی قادر به تغییر بین حالات مختلف پردازش شناختی بوده و بر این اساس

[24] Heb
[25] Bottom-up
[26] Miran
[27] Nikolaenko
[28] Lezak
[29] Hielman

افزایش انعطاف‌پذیری در ناحیهٔ پیشانی مغز را نشان داده‌اند. این تفسیر خود نیز بر اساس نظریهٔ کریس در مورد خلاقیت است که بیان می‌کند که افراد خلاق توانایی بالایی برای تغییر بین فرایندهای شناختی اولیه (رویاپردازی، خیال‌پردازی) و ثانویه (انتزاعی، تحلیلی) دارند و از طرف دیگر توانایی بیشتری برای بازگشت به فرایندهای اولیهٔ شناختی دارند که به نوبهٔ خود برای تولید ایده‌های ابتکاری ضروری است. ناهمگام‌سازی مشاهده شده در ناحیهٔ پیشانی در موقعیت تفکر همگرا همسو با نتایج یافته‌های فینک و همکاران می‌باشد (۲۷). آن‌ها در مطالعهٔ خود به بررسی تفاوت فعالسازی امواج آلفا در رقصندگان حرفه‌ای و مبتدی پرداختند. نتایج نشان داد که در رقصندگان حرفه‌ای همگام‌سازی بالایی را در ناحیهٔ پیشانی مغز نشان دادند، در صورتی که در رقصندگان مبتدی ناهمگام‌سازی در ناحیهٔ پیشانی در حین انجام تکلیف تفکر همگرا مشاهده گردید. در این زمینه معتقدند که افزایش همگام‌سازی امواج آلفا در ناحیهٔ پیشانی مغز احتمالاً نشان‌دهندهٔ کاهش سطح تحریک‌پذیری نورون‌ها در نواحی پیشانی و یا ایجاد نوعی هایپوفرونتالیتی در طول عملکرد تکالیف تفکر واگرا است (۲۸).

در موقعیت تفکر واگرا در ناحیهٔ مرکزی و گیجگاهی فعالیت امواج آلفا با همگام‌سازی روبه‌رو بوده است که این همگام‌سازی حاکی از افزایش فعالیت است. در مقابل، در موقعیت تفکر همگرا نواحی مرکزی و گیجگاهی با ناهمگام‌سازی موج آلفا روبه‌رو شده‌اند که این ناهمگام‌سازی بیانگر این مهم است که نواحی ذکر شده در حین انجام تکالیف تفکر همگرا با کاهش فعالیت امواج آلفا روبه‌رو بوده‌اند. یافته‌های فوق با نتایج یافته‌های فینک و نئوبائر و همچنین گرانبر و همکاران همسو است (۲۰، ۱۴). نتایج به دست آمده از پژوهش‌های ذکر شده نشان داد که ایده‌های بیشتر ابتکاری در مقایسه با ایده‌هایی که از ابتکار کمتری برخوردار بوده‌اند با همگام‌سازی قوی‌تر فعالیت آلفا در نواحی آهیانه‌ای و مرکزی و نواحی قشری پیشانی همراه بوده‌اند. علاوه بر این یافته‌های پژوهش حاضر نیز همسو با یافته‌های جانگ بیمن و همکاران و بچتروا[30] و همکاران است (۲۹، ۷). آن‌ها در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که نواحی آهیانه‌ای و مرکزی به شکل جدی درگیر در تکالیف تفکر خلاق و واگرا است.

تشکر و قدردانی

از کلیهٔ دانشجویان بزرگواری که در این پژوهش شرکت داشتند و از راهنمایی‌های بی‌دریغ اساتید محترم و همچنین از ستاد توسعهٔ علوم و فناوری‌های شناختی در ارتباط با حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Bayrami M, Nazari MA, Andalib Kooraeim M. EEG patterns coherence in theta band during convergent and divergent thinking. Adv Cogn Sci. 2011; 13(2): 1-8.

2. Dietrich A. The cognitive neuroscience of creativity. Psychon Bull Rev. 2004; 11(6): 1011-26.

3. Flaherty A. Frontotemporal and dopaminergic control of idea generation and creative drive. J Comp Neurol. 2005; 493(1): 147-53.

4. Sternberg RJ, Lubart TI. Investing in creativity. Psychol Inq. 1993; 4(3): 229-32.

5. Mölle M, Marshall L, Wolf B, Fehm HL, Born J. EEG complexity and performance measures of creative thinking. Psychophysiology. 1999; 36(1): 95-104.

6. Razoumnikova O. Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation. Cogn Brain Res. 2000; 10(1-2): 8-11.

7. Jung-Beeman M, Bowden EM, Haberman J, Frymiare JL, Arambel-Liu S, Greenblatt R, et al. Neural activity when people solve verbal problems with insight. PLOS Biol. 2004; 2(4): e97. Doi: 10.1371/journal.pbio.0020097.

8. Folley B, Park S. Verbal creativity and schizotypal personality in relation to prefrontal hemispheric laterality: A behavioral and near-infrared optical imaging study. Schizophr Res. 2005; 80(2-3): 271-82.

9. Bhattacharya J, Petsche HJ. Drawing on mind's canvas: differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. Hum Brain Mapp. 2005; 26(1): 1-14.

10. Benedek M, Schickel RJ, Jauk E, Fink A, Neubauer AC. Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. Neuropsychologia. 2014; 56: 393-400.

11. Klimesch WJ. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. Trends Cogn Sci. 2012; 16(12): 606-17.

12. Pfurtscheller G, Stancak Jr, Neuper CJ. Event-related synchronization (ERS) in the alpha band-an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. Int J Psychophysiol. 1996; 24(1-2): 39-46.

[30] Bechtereva

13. Martindale C, Mines DJ. Creativity and cortical activation during creative, intellectual and EEG feedback tasks. Biol Psychol. 1975; 3(2): 91-100.

14. Fink A, Neubauer AC. EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: differential effects of sex and verbal intelligence. Int J Psychophysiol. 2006; 62(1): 46-53.

15. Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr SJ. EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis. Brain Res. 2007; 53(1): 63-88.

16. Fink A, Grabner RH, Benedek M, Neubauer AC. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization. Eur J Neurosci. 2006; 23(8): 2241-6.

17. Lustenberger C, Boyle MR, Foulser AA, Mellin JM, Fröhlich FJ. Functional role of frontal alpha oscillations in creativity. Cortex. 2015; 67: 74-82.

18. Dietrich A, Kanso RJ. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. Psychol Bull. 2010; 136(5): 822-48.

19. Jauk E, Benedek M, Neubauer AC. Tackling creativity at its roots: evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing. Int J Psychophysio. 2012; 84(2): 219-25.

20. Grabner RH, Fink A, Neubauer AC. Brain correlates of self-rated originality of ideas: evidence from event-related power and phase-locking changes in the EEG. Behav Neurosci. 2007; 121(1): 224-30.

21. Fink A, Neubauer AC, Differences I. Eysenck meets martindale: the relationship between extraversion and originality from the neuroscientific perspective. Pers Individ Dif. 2008; 44(1): 299-310.

22. Saborimoghadam H. Impact of motivational manipulation and brain-behavioral systems on neurotransmission rates. PhD Thesis, Tabriz University. 2008.

23. Razumnikova OM. Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG inves tigation in human subjects. Neurosci Lett. 2004; 362(3): 193-5.

24. Fink A, Schwab D, Papousek IJ. Sensitivity of EEG upper alpha activity to cognitive and affective creativity interventions. Int J Psychophysiol. 2011; 82(3): 233-9.

25. Martindale C. Biological bases of creativity. Cambridge: Cambridge University Press; 1999. p. 137-152.

26. Neubauer AC, Fink AJ, Differences I. Fluid intelligence and neural efficiency: effects of task complexity and sex. Pers Individ Dif. 2003; 35(4): 811-27.

27. Fink A, Grabner RH, Benedek M, Reishofer G, Hauswirth V, Fally M, et al. The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. Hum Brain Mapp. 2009; 30(3): 734-48.

28. Fink A, Graif B, Neubauer AC. Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. NeuroImage. 2009; 46(3): 854-62.

29. Bechtereva N, Korotkov A, Pakhomov S, Roudas M, Starchenko M, Medvedev SJ. PET study of brain maintenance of verbal creative activity. Int J Psychophysio .2004; 53(1): 11-20.