فصلنامه علمی ـ پژوهشی عصب‌روانشناسی
سال پنجم، شماره ٤ (پیاپی۱۹)، زمستان ۱۳۹۸(۷۲_۵۳)

Neuropsychology
Vol.5, No.4, (Series 19), Winter 2020(53_72)

تفاوت‌های کارکردی همگام‌سازی امواج باند آلفا در نواحی خلفی و قدامی مغز در طول تفکر واگرا و همگرا

*عماد آذر[۱]، ایمان‌اله بیگدلی[۲]، مسعود فضیلت‌پور[۳]، سعیده خسروی[٤]
۱. کارشناسی ارشد روانشناسی شناختی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. استاد روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. دانشیار روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
٤. دانشجوی دکتری علوم اعصاب شناختی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(تاریخ وصول: ۹۸/۰۸/۲۲ ـ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۰)

The Functional Differences of Alpha Band wave's Synchronization in Posterior and Anterior Regions of the Brain During Divergent and Convergent Thinking

*Hossein Akbarifar[1], Ahmad Ahmadi[2], Ruhallah Fatahabadi[3], Hamed Salehi[4]

1. M.A of cognitive Psychology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
2. professor of Psychology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3. Associate Professor of Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran.
4. PHd Student in Cognitive Neuroscience, Tabriz University,Tabriz, Iran.
(Received: Nov.13, 2019- Accepted: Feb.09, 2020)

چکیده

مقدمه: تفکر به عنوان یکی از کارکردهای عالی شناختی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. گیلفورد با تقسیم‌بندی تفکر به دو نوع واگرا و همگرا تاثیر شگرفی بر پژوهش‌های تجربی تفکر خلاق داشته است. باند فرکانسی آلفا در محدوده ۱۲–۸ هرتز با کارکردهای شناختی مانند خلاقیت در ارتباط است. هدف از پژوهش حاضر بررسی افزایش و کاهش تغییرات توان باند آلفا (همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد) در دو نوع متفاوت تفکر واگرا و همگرا بود. **روش:** نمونه مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۳۸ نفر از دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۹ مرد، ۱۹ زن) بود که با توجه به روش نمونه‌گیری در دسترس و داوطلبانه انتخاب گردیدند. امواج مغزی با استفاده از یک دستگاه ۱۹ کاناله در حین انجام تکالیف تفکر واگرا و همگرا ثبت و تغییرات توان باند آلفا با استفاده از نرم‌افزار متلب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. **یافته‌ها:** فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا از نواحی قدامی به نواحی خلفی با پدیده همگام‌سازی روبه رو بوده است، در حالی که در موقعیت تفکر همگرا کاهش توان باند آلفا در نواحی خلفی در مقایسه با نواحی قدامی مغز مشاهده شد. **نتیجه‌گیری:** فعالیت امواج آلفا به صورت قابل توجهی در تکالیف تفکر واگرا با افزایش همراه است که این افزایش فعالیت در نواحی خلفی مغز با افزایش توان بالاتری همراه است، در مقابل تکالیف مرتبط با تفکر همگرا کاهش فعالیت را از نواحی قدامی به نواحی خلفی نشان داد.

واژگان کلیدی: همگام‌سازی، امواج آلفا، نواحی خلفی و قدامی، تفکر واگرا و همگرا

Abstract

Aim: Thinking as one of the cognitive functions has always been of interest to researchers. With a distinction between divergent and convergent cognitive processes, Guilford has made a huge impact on experimental research on creative thinking. Alpha frequency band in the range of 12-8 Hz is associated with cognitive functions such as creativity. The purpose of this study was to investigate the increase and decrease of alpha power changes (event-related synchronization and de-synchronization) in two different types of divergent and convergent thinking. **Method:** The sample of this study consists of 38 postgraduate students of Ferdowsi University of Mashhad (19 males, 19 females) who were selected by available and voluntary sampling method. The brain waves were recorded using a 19-channel instrument while performing divergent and convergent thinking tasks, and alpha power changes were analyzed using MATLAB software. **Results:** activity of alpha waves is in the position of divergent thinking from the anterior regions to the posterior regions with synchronization, while in the convergent thinking position we have seen the reduction in the power of the alpha band in the posterior regions compared to the anterior regions of the brain. **Conclusion:** The activity of alpha waves is significantly associated with divergent thinking tasks, which increased activity in the posterior regions of the brain with increased activity, in contrast to tasks related to convergent thinking, indicated decreased activity from the anterior regions to the posterior regions.

Keywords: Synchronization, alpha waves, posterior and anterior regions, divergent and converging thinking

نویسنده مسئول: عماد آذر
: **Email:**Emad.azar@mail.um.ac.ir

مقدمه

یکی از مفاهیم پایه‌ای که منجر به تمایز فرآیندهای ذهنی تفکر واگرا و همگرا گردید توسط گیلفورد ارائه شده است. براساس این رویکرد دو نوع تکلیف ذهنی از یکدیگر متمایز می‌شوند. تفکر همگرا از فرآیندهای ذهنی غالبی استفاده می‌کند که تنها برای حل یک تکلیف به کار می‌روند. در مقابل، در طول تفکر واگرا بسیاری از ایده‌های جدید در ارتباط با برخی از تکالیف ذهنی تولید می‌شود که این خود بدین معنی است که راه‌حل‌های متنوع زیادی ممکن است برای حل یک تکلیف به کار روند. مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که تنها در این نوع عملیات ذهنی افراد از راه‌حل‌های منحصر به فرد فراوان به منظور تولید ایده‌های خلاقانه استفاده می‌کنند. از این رو می‌توان فرض کرد که سطوح نورفیزیولوژیک تفکر همگرا می‌تواند با تعاملات محدود زمانی–فضایی[1] مجموعه‌های عصبی بین نواحی مختلف مغز در مقایسه با تفکر واگرا همراه باشد. بررسی‌های انجام شده در این حوزه نشان‌دهنده بالاتر بودن پیچیدگی امواج الکتروانسفالوگرام در طول تفکر واگرا در مقایسه با تفکر همگرا است که این خود به عنوان نتیجه‌ای از فعال‌سازی همزمان تعداد زیادی از واحدهای پردازشی مستقل در حال نوسان تفسیر شده است(مول و همکاران، ۱۹۹۹).

تعداد زیادی از مطالعات نوروفیزیولوژیک به دنبال پاسخگویی به این سوال بوده‌اند که آیا فرآیندهای تفکر واگرا در مقایسه با تفکر همگرا الگوهای فعالیت متمایز قشری را نشان می‌دهند یا خیر ؟ بدین منظور، مطالعات بسیاری به مقایسه الگوهای فعال‌سازی مغز در طول عملکرد تولید ایده‌های خلاقانه در مقایسه با تکالیف مرتبط با هوش پرداخته‌اند. یکی از مطالعات اولیه انجام گرفته در این زمینه نشان داد که امواج EEG توان آلفای بالاتری را در طول مرحله ابداع در مقایسه با مرحله بسط ایده‌های خلاقانه نشان می‌دهند (مارتیندال و هاسنفوس[2]، ۱۹۷۸). این یافته منجر به پدیدآیی این تفسیر شد که توان باند آلفا به عنوان یک کارکرد معکوس از انگیختگی قشری عمل می‌کند و این که شناخت خلاق احتمالا در یک حالت انگیختگی قشری پایین (توان آلفای بالا) روی می‌دهد؛ فرضیه‌ای که به عنوان انگیختگی قشری پایین شناخته شده است. (مارتیندال، ۱۹۹۹). وجود نتایج متناقض تایید و رد فرضیه انگیختگی منجر به انجام مطالعات بیشتر برای درک روشن‌تر و دقیق‌تر نقش فعالیت آلفا در شناخت خلاق گردید. برای مثال، در مطالعه‌ای نشان داده شد که توان باند فرکانسی آلفا در طول عملکرد تکلیف استفاده‌های غیرمعمول از اشیاء روزمره در مقایسه با تکالیف مرتبط با هوش کلامی با افزایش بیش‌تری همراه بوده

1. spatial–temporal

2. Martindale & Hasenfus

است (جارسولد[1] و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه دیگری مشخص شد که فعالیت امواج آلفا در طول تکلیف تصویرسازی رقص بداهه[2] که با حرکات خلاقانه در این نوع رقص همراه است، در مقایسه با زمانی که شرکت‌کنندگان درگیر در انجام رقص استاندارد والتز[3] بوده‌اند با افزایش همراه بوده است (فینک و همکاران، ۲۰۰۹). این نتایج نشان می‌دهد که تکالیف با خواسته‌های خلاقانه بالاتر با همگام‌سازی بیش_تر امواج آلفا یا به عبارت دیگر با افزایش فعالیت این موج همراه بوده است. در پژوهش دیگر به بررسی تغییرات فعالیت امواج آلفا در حین تصویرسازی ذهنی خلاقانه حرکات در تصمیم‌گیری موقعیت‌های بازی فوتبال پرداخته شد. نتایج حاکی از این بود که شرکت‌کنندگانی که حرکات خلاقانه بیش‌تری تولید کردند فعالیت امواج آلفا مغز آن‌ها با کاهش فعالیت در نواحی قشری نیمکره چپ در نواحی حرکتی مغز همراه بود. از این رو نتایج بیانگر این موضوع است که افرادی که حرکات خلاقانه بیش‌تری تولید کردند به شدت درگیر در پردازش‌های مربوط به تصویرسازی حرکات بوده‌اند (فینک[4]، بندک و همکاران، ۲۰۱۸).

تغییرات فعالیت در باندهای فرکانسی مختلف EEG منعکس‌کننده جنبه‌های مختلف فعالیت‌های شناختی است(نوپر و کلیمیچ[5]، ۲۰۰۶). در دوره‌های استراحت، فرکانس EEG در محدوده باند آلفا (۸-۱۲ هرتز) در طیف EEG غالب می‌شود. این پدیده یعنی افزایش توان آلفا[6] تحت عنوان همگام‌سازی[7] EEG نام‌گذاری شده است. درمقابل، در هنگام انجام تکالیف شناختی معمولا توان باند آلفا در برابر افزایش دیگر فرکانس‌ها در طیف EEG کاهش می‌یابد که این پدیده ناهمگام‌سازی EEG نامیده می‌شود. مطالعات تصویربرداری عصبی و الکتروآنسفالوگرام انجام شده تا حد زیادی در شکل‌گیری این باور مشترک نقش داشته‌اند که خلاقیت سازه‌ای چندوجهی است که با کارکردهای شناختی مانند توجه و کنترل شناختی در ارتباط است. در بررسی مطالعات انجام گرفته در زمینه خلاقیت با استفاده از روش تصویربرداری کارکردی دریافته‌اند که شبکه اصلی خلاقیت شامل نواحی از قشر پیش‌پیشانی جانبی[8] است، که به صورت مداوم در فرآیندهای اجرایی سطح بالا مانند سیالی، انعطاف‌پذیری یا کنترل شناختی نقش دارد. با این حال فرآیندهای ذکر شده شامل مجوعه‌ای از نواحی مغز از جمله (شکنج زاویه‌ای چپ، شکنج گیجگاهی فوقانی و شکنج پیشانی تحتانی) که با فرآیندهای معنایی همانند فعال‌سازی و بازیابی از بازنمایی‌های درونی حافظه در ارتباط است (بیندر[9] و همکاران،

1. Jaarsveld
2. imagination of a dance improvisation
3. standard waltz dance
4. Fink
5. Neuper & Klimesch
6. Alpha power
7. synchronization
8. lateral prefrontal cortex
9 Binder

۲۰۰۹). از سوی دیگر تصویر مشابهی از یافته‌ها در حوزه EEG پدید آمد که شواهد حاصل از این مطالعات نشان‌دهنده یافته‌های باثباتی است که افزایش سطوح توان باند آلفا در مغز در ارتباط با فرآیندهای شناخت خلاق است (فینک و همکاران، ۲۰۱۷؛ لوپاتا[1] و همکاران، ۲۰۱۷). در حالی که کاهش در توان باند آلفا در طول عملکرد تکالیف خاص (در مقایسه با خط مبنا) تصور می‌شود که نشان‌دهنده افزایش سطح تحریک‌پذیری نورون‌ها در نواحی قشری است و از این رو به عنوان یک همبستگی کارکردی از فعال‌سازی مغز در نظر گرفته می‌شود (کلیمیچ و همکاران، ۲۰۰۷)، در حالی که افزایش تواند باند آلفا نشان‌دهنده تضعیف تحریک محرک‌های صعودی است که ممکن است با موفقیت در انجام تکلیف تداخل‌کند. در مطالعه‌ای نشان داده شده است که افزایش توان آلفا در طی تولید ایده‌های خلاقانه نشان دهنده یک حالت درونی سطح بالا و خواسته‌های پردازش نزولی است که ممکن است فرآیندهای جهت‌گیری درونی شامل تصویرسازی ذهنی و جست و جوی موثر و بازیابی از بازنمایی‌های حافظه در طول ایده‌های ابتکاری را تسهیل کند (فینک و بندک، ۲۰۱٤).

تا به امروز مطالعات مختلفی از روش همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد[2] به منظور بررسی خلاقیت و دیگر کارکردهای شناختی استفاده کرده‌اند. براساس شواهد موجود در این حوزه می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت امواج آلفا به عنوان کارکرد خواسته‌های تکالیف مرتبط با خلاقیت با فعالیت بیش‌تر این موج در تکالیف نیازمند به خلاقیت بالاتر همراه است (رامینر[3] و همکاران، ۲۰۱۸) و در تجارب ذهنی مبتنی بر بینش که با فعالیت بیش‌تر در مقایسه با راه‌حل‌های غیربینشی همراه است (جانگ بیمن[4] و همکاران، ۲۰۰٤) بیش‌تر مشاهده می‌شود. علاوه بر این، فعالیت امواج آلفا با سطوح خلاقیت فردی مرتبط است که با فعالیت بیش‌تر امواج آلفا در افراد با خلاقیت بالاتر همراه است (فینک و همکاران، ۲۰۰۹؛ جائوسوئک[5]، ۲۰۰۰). پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه به کارگیری مداخلات شناختی مغز با استفاده از نرم‌افزارها و دیگر روش‌های موجود در این حوزه شامل به کارگیری برنامه‌های خاصی است که با تکرار در مدت زمان خاصی منجر به ارتقاء مهارت‌ها و توانایی‌های شناختی در فرد می‌شود (رودا[6] و همکاران، ۲۰۰۵؛ به نقل از دانا و شمس، ۱۳۹۸). نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فعالیت امواج آلفا در صورت به کارگیری مداخلات آموزش خلاقیت کلامی نیز افزایش می‌یابد (فینک و همکاران، ۲۰۰٦). علاوه بر مطالعاتی که به

1. Lopata
2. ERD/S

3. Rominger
4. Jung-Beeman
5. Jaušovec
6. Rueda

بررسی اثرات آموزش خلاقیت کلامی پرداخته‌اند، مطالعاتی نیز به بررسی اثربخشی مداخلات آموزشی با استفاده از تقویت امواج آلفا و بتا در نواحی مختلف مغزی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای با استفاده از روش نوروفیدبک به دنبال بررسی افزایش شناخت خلاق از طریق تقویت فعالیت‌های نواحی خاص مغز که در مطالعات پیشین در ارتباط با پردازش‌های تفکر خلاق بوده‌اند پرداخته شد. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که تقویت امواج آلفا و بتا در ناحیه آهیانه‌ای نیمکره راست مغز در ارتباط با سیالی ایده‌پردازی و پاسخ‌های ابتکاری بوده است (آگنولی[1] و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به ارتباط فعالیت EEG در باند فرکانسی آلفا در حوزه تحقیقات مربوط به خلاقیت و همچنین بر اساس شواهد موجود در زمینه فعالیت امواج آلفا و کارکردهای عالی شناختی مغز و نیز با عنایت به نقش‌های متفاوت نواحی مختلف مغزی در فرآیندهای شناختی واگرا و همگرا در تکالیف مختلف که بیانگر سازماندهی کارکردی امواج مغزی در فرآیندهای شناختی متفاوت است، در این پژوهش به دنبال بررسی تغییرات توان باند فرکانسی آلفا با توجه به دو موقعیت واگرا و همگرا در نواحی قدامی و خلفی مغز بوده‌ایم. علاوه براین تفاوت‌های فعالیت امواج آلفا در طول تکالیف مختلف واگرا و همگرا سبب می‌شود تا در سطح نظری بتوان خلاقیت را با توجه به رویکرد علوم اعصاب بیان و گامی در جهت تبیین مفاهیم روانشناسی براساس این دیدگاه نوین برداشت. از این رو، با توجه به نقش محوری فعالیت امواج آلفا در تفکر واگرا و همچنین نقش کارکردی این امواج و همگام سازی و ناهمگام‌سازی آن در طول فرآیندهای شناخت خلاق، مسئله مورد نظر در این پژوهش، بررسی تفاوت‌های همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در نواحی خلفی در مقایسه با نواحی قدامی مغز در طول انجام تکالیف تفکر واگرا و همگرا است.

روش

پژوهش حاضر از حیث هدف جزء پژوهش‌های کاربردی و از منظر روش، شبه آزمایشی از نوع اندازه‌گیری‌های مکرر است. جامعه آماری پژوهش حاضر در برگیرنده دانشجویان تحصیلات تکمیلی مشغول به تحصیل در دانشگاه فردوسی مشهد در سال تحصیلی ۱۳۹۵-۱۳۹٤ است. 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 شرکت‌کننده‌هایی که از لحاظ بینایی طبیعی و سابقه هیچگونه اختلالات روانشناختی و همچنین مصرف داروهای روانپزشکی را نداشته‌اند و رضایت آگاهانه خود را برای شرکت در این پژوهش ابراز کردند به عنوان گروه نمونه انتخاب شدند. در ابتدا قبل از شروع فرآیند ثبت EEG توضیحات کاملی در

1. Agnoli

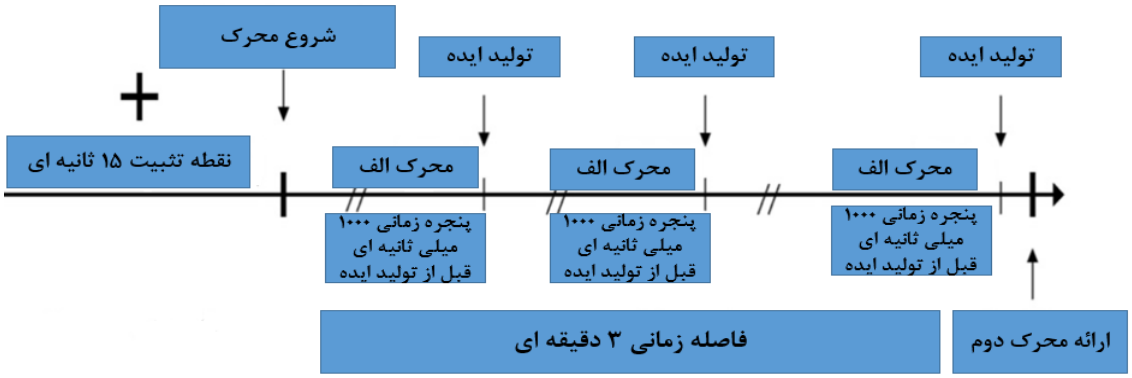
ارتباط با نحوه ثبت و همچنین تهاجمی نبودن و عدم آسیب رسانی این روش به شرکت‌کنندگان داده شد. با توجه به ادبیات پژوهشی و همچنین پیش بینی افت در تعداد شرکت‌کنندگان، ۳۸ نفر (۱۹ مرد، ۱۹ زن) راست برتر انتخاب شدند. ۲ آزمودنی به دلیل عدم ارائه کوشش‌های کافی و صحیح و به دلیل وجود آرتیفکت در نوار مغزی‌شان از تجزیه 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 ۳٦ نفر (۱۸ زن و ۱۸ مرد) است.

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 وسیله کلاه مخصوص EEG صورت گرفت. سیگنال‌های EEG بین یک دهم تا ۷۰ هرتز فیلتر و امپدانس الکترودها نیز زیر ۵ کیلو اهم نگه داشته شد. در آغاز جلسه ثبت EEG از آزمودنی خواسته شد که خود را در حالت آرامش قرار داده و سپس به صورت متوالی ٤ دقیقه EEG ثبت شد که در مرحله اول ثبت با چشمان باز و در مرحله دوم ثبت با چشمان بسته صورت گرفت. تکالیف استفاده شده در این پژوهش در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا به آزمودنی‌ها ارائه شد.

درموقعیت تفکر واگرا تکلیف استفاده‌های غیرمعمول و اندازه‌گیری طول مارهای سمی و در موقعیت تفکر همگرا تکلیف میسیونرها و آدمخورها و شمارش اعداد به آزمودنی‌ها ارائه شد. در ابتدا دستورالعمل‌های هر تکلیف بر روی صفحه کامپوتر ارائه و از آزمودنی خواسته شد که هر زمان دستورالعمل‌های داده شده را به صورت کامل متوجه شدند کلید Space را به منظور شروع تکلیف فشار دهند. لازم به ذکر است که قبل از شروع تکالیف یک نقطه تثبیت[1] (+) ۱۵ ثانیه‌ای بر روی صفحه کامپیوتر ارائه و از آزمودنی خواسته شد که به این نقطه تثبیت توجه کند. پس از ۱۵ ثانیه این علامت به صورت خودکار ناپدید و تکلیف اصلی به آزمودنی ارائه شد. بنابراین تمامی تکالیف با ارائه یک نقطه تثبیت ۱۵ ثانیه‌ای شروع شدند که در مرحله تحیل داده‌ها برای ارزیابی توان مرجع پیش محرک[2] به کار گرفته شد. در هنگام ارائه 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 ایده مورد نظر خود را بازگو کنند. این کار به منظور ثبت دقیق زمانی است که فرد ایده به ذهنش رسیده است. در تکلیف استفاده‌های غیرمعمول چهار کلمه آجر، جوراب، خودکار و قوطی هر کدام به مدت ۳ دقیقه به آزمودنی ارائه شد و پس از

1. fixation cross
2. pre-stimulus reference power

اتمام نمایش هر محرک مجددا یک نقطه تثبیت ۱۵ ثانیه ای ارائه می‌شد و پس از توجه آزمودنی به آن مجددا محرک بعدی بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شد. همچنین در تکلیف اندازه‌گیری طول مارهای سمی علاوه بر اینکه تکلیف با ارائه نقطه تثبیت شروع می‌شد، از آزمودنی خواسته شد که هر زمان ایده‌ای به ذهنش رسید دکمه Space را فشار دهد، پس از آن مجددا نقطه تثبیت ارائه و پس از توجه آزمودنی به آن مجددا مشغول به تفکر برای ارائه راه حل‌های متنوع دیگر برای این تکلیف می‌شد. در مقابل در تکالیفی که در موقعیت تفکر همگرا به آزمودنی ارائه شد، پس از ارائه دستورالعمل‌های کامل بر روی صفحه نمایش، آزمون با ارائه یک نقطه تثبیت ۱۵ ثانیه‌ای شروع و از آزمودنی خواسته می‌شد که با توجه به دستورالعمل داده شده تکالیف ارائه شده را انجام دهد (شکل۱).



شکل۱. طرح کلی دوره‌های زمانی و فواصل اندازه‌گیری در تکلیف استفاده‌های غیرمعمول

در تجزیه و تحلیل داده‌ها برای اندازه‌گیری فعالیت مغز در طول عمکرد تکالیف آزمایشی از تغییرات توان وابسته به تکلیف[1] در EEG استفاده شد. توان وابسته به تکلیف در یک الکترود از طریق تفاضل فاصله توان در طول مرجع پیش محرک (توان مرجع) از توان در طول فاصله فعال‌سازی (توان فعال‌سازی) بر اساس فرمول زیر به دست آورده شد.

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

بنابراین اگر مقادیر به دست آمده از این فرمول بیانگر مقادیر منفی باشد، نشان‌دهنده کاهش توان از فاصله مرجع به فاصله فعال‌سازی است که به عنوان ناهمگام سازی در نظر گرفته می‌شود، در حالی که افزایش در توان از فاصله مرجع به فاصله فعال‌سازی با مقادیر مثبت نشان داده می‌شود و به عنوان همگام‌سازی در نظر گرفته می‌شود. به منظور

1. task-related power

برآورد فعال‌سازی توان[1] و مرجع توان[2] در هر الکترود یک فاصله زمانی ۱۳ ثانیه‌ای در طی ارائه نقطه تثبیت به عنوان فاصله مرجع پیش محرک برای محاسبه میزان توان وابسته به تکلیف به کار گرفته شد . لازم به ذکر است که در تکلیف میسیونرها و آدمخورها و شمارش اعداد تمامی طول دوره‌ای که آزمودنی‌ها مشغول به انجام این تکالیف بودند به عنوان فاصله فعال سازی در نظر گرفته شد. در مقابل در تکلیف استفاده‌های غیرمعمول و اندازه‌گیری طول مارهای سمی یک پنجره زمانی هزار میلی ثانیه‌ای به صورت مستقیم قبل از فشار کلید Space به عنوان فاصله فعال‌سازی در تجزیه و تحلیل‌های EEG مورد استفاده قرار گرفت.

برای هر دو دوره فعال‌سازی و دوره مرجع، داده‌های EEG با دقت به منظور 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 برای تجزیه و تحلیل باند فرکانس آلفا (۸-۱۲ 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($V\mu^2$) برای هر دو دوره مرجع پیش محرک و فواصل فعال‌سازی محاسبه شد. **همچنین در این پژوهش از ابزارهای ذیل استفاده گردید.**

پرسشنامه برتری جانبی: این پرسشنامه توسط صبوری مقدم (۱۳۸۷) ساخته شده است که دارای ۸ آیتم است که هرکدام جنبه ای از برتری جانبی را می‌سنجد. این پرسشنامه با سه درجه راست برتر، چپ برتر، و عدم برتری جانبی نمره گذاری می شود. افرادی که در ۷ مورد از ۸ مورد به گزینه راست برتر اشاره کرده‌اند، به عنوان آزمودنی انتخاب شدند.

الکتروانسفاوگرافی کمی (QEEG): به منظور ثبت EEG از آمپلی فایر Mitsar و از کلاه Electrocap که شامل ۱۹ الکترود است استفاده شد، که منطبق با سیستم بین المللی ۲۰-۱۰ است. برای تحلیل کمی نیز با استفاده از یک فرآیند ریاضی پیچیده (FFT)، امواج ثبت شده به عدد و اعداد نیز به نوبه خود به صورت آماری آنالیز شده و به تصاویر و نمودارها از فعالیت امواج مغز تبدیل شدند. لازم به ذکر است که فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Matlab(R2014b) انجام گرفت.

تکلیف میسیونرها و آدمخورها: این تکلیف شامل انتقال سه میسیونر و سه آدمخور به وسیله یک قایق از یک طرف رودخانه به طرف دیگر آن است. در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد تا این تکلیف را حل کنند:"چگونه می‌توان همه میسیونرها و آدمخورها را از یک طرف رودخانه به سمت

1. power activation
2. power reference

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 است (کلاریچ و مک دونالد، ۲۰۰۹). برای انجام این تکلیف از نسخه کامپوتری آن استفاده شد تا آزمودنی بتواند به صورت کاملا 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 ٦ شروع کنند و اعداد متوالی را با فاصله ۷ عدد بنویسند و بعد از ۵ دقیقه جواب به دست آمده را بازگو کنند (رازونیکووا، ۲۰۰۰؛ به نقل از بیرامی و همکاران، ۱۳۹۰).

تکلیف استفاده‌های غیرمعمول: این تکلیف در دهه ۱۹۵۰ توسط گیلفورد برای ارزیابی تفکر واگرا ساخته شد (به نقل از فینک و همکاران، ۲۰۱۱). در این تکلیف آزمودنی‌ها باید به استفاده‌های ابتکاری و غیرمعمول اشیاء معمولی روزمره مانند قوطی، آجر، خودکار، جوراب فکر می‌کردند. 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 بازگوکند.

تکلیف اندازه‌گیری طول مارهای سمی: در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد که این مسئله را حل کنند: درجنگلی 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 (رازونیکووا،۲۰۰٤؛ به نقل از بیرامی و همکاران، ۱۳۹۰). برای این تکلیف به آزمودنی‌ها ۵ دقیقه وقت داده شد.

یافته‌ها

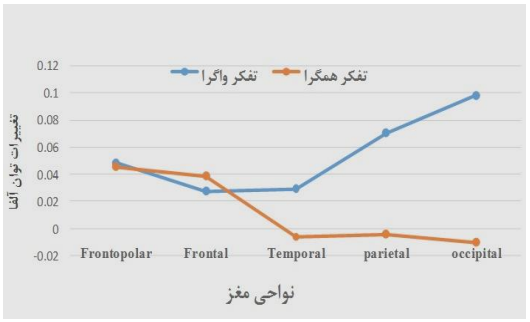
به منظور بررسی تفاوت‌های موجود همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی در طول عملکرد تکالیف آزمایشی در بخش توصیفی از روش‌های میانگین و انحراف معیار و در بخش استنباطی از روش تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا، و در نواحی مغزی (فرونتوپولار[1]، پیشانی، آهیانه‌ای، گیجگاهی و پس‌سری) استفاده گردید.

1. frontopolar

جدول۱. شاخص‌های توصیفی همگام‌سازی امواج آلفا در نواحی قدامی و خلفی در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا

نواحی مغز	نوع تفکر	میانگین	انحراف معیار
فرونتوپولار	تفکر واگرا	۰/۰۴۹	۰/۲۸
	تفکر همگرا	۰/۰۴۶	۰/۱۹
پیشانی	تفکر واگرا	۰/۰۲۸	۰/۱۹
	تفکر همگرا	۰/۰۳۹	۰/۱۶
گیجگاهی	تفکر واگرا	۰/۰۳۰	۰/۲۵
	تفکر همگرا	-۰/۰۰۶	۰/۱۸
آهیانه‌ای	تفکر واگرا	۰/۰۷۱	۰/۲۹
	تفکر همگرا	-۰/۰۰۴	۰/۱۲
پس‌سری	تفکر واگرا	۰/۰۹۹	۰/۳۲
	تفکر همگرا	-۰/۰۱۰	۰/۱۳

همان‌گونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌گردد، میانگین نمرات تغییرات توان امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا، نشان‌دهنده یک افزایش گام به گام از نواحی قدامی به نواحی خلفی مغز درحد توصیفی است. در مقابل در طول انجام تکالیف تفکر همگرا کاهش تغییرات توان در باند فرکانسی آلفا مشاهده شد که می‌تواند نشانگر ناهمگام‌سازی امواج آلفا از نواحی قدامی به نواحی خلفی مغز در موقعیت تفکر همگرا باشد. نتایج حاصل از همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا در نمودار شماره ۱ آورده شده است.



نمودار۱. همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در نواحی قدامی و خلفی مغز در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا

به منظور بررسی معناداری تغییرات توان امواج آلفا در دو شرایط ناحیه (قدامی در مقایسه با خلفی) و موقعیت (واگرا در مقایسه با همگرا) از آزمون تحلیل واریانس طرح اندازه‌های مکرر استفاده گردید (جدول۲). قبل از اجرای آزمون تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر، آزمون کرویت موخلی برای اطمینان از رعایت شدن مفروضه همسانی کواریانس‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه سطح معناداری مقدار محاسبه شده کرویت موخلی کمتر از ۰/۰۵ است، داده‌ها مفروضه‌ی همگنی کواریانس‌ها را زیر سوال برده است. از این رو با استفاده از آزمون گرین هاوس -گایزر[1] درجه آزادی تعدیل شد (G= ۰/۲۱). براساس نتایج مندرج در جدول شماره ۲ اثر اصلی تغییرات توان باند آلفا در متغیرهای ناحیه (F (۲/۳۴ ،۷۷/۴۰)= ۸/۹۵،P=۰/۰۰۱)، موقعیت (F (۱ ،۳۳)= ٤/۳٦،P=۰/۰۱)، و همچنین اثر تعاملی ناحیه با موقعی (F (۲/۲٦ ،۱۰۷/۸۵)= ۵/۹۹،P=۰/۰۰۱) نشان‌دهنده وجود تفاوت معنادار در بین متغیرهای مورد نظر است.

1. Greenhouse -Geisser

جدول۲. خلاصه تحلیل واریانس به منظور بررسی ارتباط نواحی مغزی در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا

متغیر	منابع تغییر	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معناداری	اندازه اثر
ناحیه	شرایط	۱۰	۲/۳٤	۰/۸۹	۸/۹۵	۰/۰۰۱	۰/۲۱۳
	خطا	۷/۷	۷۷/٤۰	۰/۱۰			
موقعیت	شرایط	۰/۲۲	۱	۰/۲۱	٤/۳٦	۰/۰۱	۰/۲۱۹
	خطا	۰/۷٦	۳۳	۰/۰۲۳			
ناحیه × موقعیت	شرایط	۰/۷۲	۳/۲٦	۰/۲۲	۵/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۲۱۵
	خطا	۲/٦۱	۱۰۷/۸۵	۰/۰۲٤			

بر اساس نتایج مندرج در جدول شماره ۳ به منظور مقایسه دو به دو نواحی قدامی و خلفی مغز در موقعیت تفکر واگرا، یافته‌ها نشان دهنده وجود تفاوت معنادار میان نواحی فرونتوپولار و نواحی آهیانه‌ای و پس‌سری است. از سوی دیگر، تغییرات توان باند فرکانسی آلفا بیانگر وجود تفاوت معنادار در بین ناحیه پیشانی با نواحی آهیانه‌ی و پس‌سری است. علاوه بر این، نواحی خلفی مغز همگام‌سازی امواج آلفا تفاوت قابل توجهی را در ناحیه گیجگاهی در مقایسه با نواحی آهیانه‌ای و پس‌سری نشان می‌دهد.

جدول۳. خلاصه نتایج حاصل از آزمون تعقیبی LSD به منظور مقایسه دو به دو تغییرات توان باند آلفا در نواحی قدامی و خلفی در دو موقعیت تفکر واگرا

شرایط (I)	شرایط (J)	تفاوت میانگین (I-J)	خطای استاندارد	سطح معناداری
فرونتوپولار	پیشانی	۰/۰۳۹	۰/۰۵٦	۰/۲۹۱
	گیجگاهی	۰/۰۱٦	۰/۰٦۱	۰/۵۹۱
	آهیانه‌ای	-۰/۰٤۹	۰/۰۵۵	۰/۰۳٦
	پس‌سری	-۰/۰۹۷	۰/۰۵۸	۰/۰۰۳
پیشانی	فرونتوپولار	-۰/۰۳۹	۰/۰۵٦	۰/۲۹۱
	گیجگاهی	-۰/۰۲۲	۰/۰۳۷	۰/۳۵۲
	آهیانه‌ای	-۰/۰۸۷	۰/۰٤۰	۰/۰۳۵
	پس‌سری	-۰/۱۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱
گیجگاهی	فرونتوپولار	-۰/۰۱٦	۰/۰٦۱	۰/۵۹۱
	پیشانی	-۰/۰۲۲	۰/۰۳۷	۰/۳۵۲
	آهیانه‌ای	-۰/۰٦۵	۰/۰۳۳	۰/۰٤۱
	پس‌سری	-۰/۱۱۳	۰/۰۳٤	۰/۰۰۲
آهیانه‌ای	فرونتوپولار	۰/۰٤۹	۰/۰۵۵	۰/۰۳٦
	پیشانی	۰/۰۸۷	۰/۰٤۰	۰/۰۳۵
	گیجگاهی	۰/۰٦۵	۰/۰۳۳	۰/۰٤۱
	پس‌سری	-۰/۰٤۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰
پس‌سری	فرونتوپولار	۰/۰۹۷	۰/۰۵۸	۰/۰۰۳
	پیشانی	۰/۱۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱
	گیجگاهی	۰/۱۱۳	۰/۰۳٤	۰/۰۰۲
	آهیانه‌ای	۰/۰٤۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰

همان‌گونه که در جدول شماره ٤ مشاهده می‌گردد به منظور بررسی تفاوت‌های تغییرات توان امواج آلفا در نواحی مغزی در موقعیت تفکر همگرا از آزمون تعقیبی LSD استفاده گردید.

جدول٤. خلاصه نتایج حاصل از آزمون تعقیبی LSD به منظور مقایسه دو به دو تغییرات توان باند آلفا در نواحی قدامی و خلفی در دو موقعیت تفکر همگرا

شرایط (I)	شرایط (J)	تفاوت میانگین (I-J)	خطای استاندارد	سطح معناداری
فرونتوپولار	پیشانی	۰/۰٤۰	۰/۰۳۱	۰/۲۰۲
	گیجگاهی	۰/۱۲۰	۰/۰٤۱	۰/۰۰٦
	آهیانه‌ای	۰/۱۰٦	۰/۰۳٤	۰/۰۰٤
	پس‌سری	۰/۱۱۵	۰/۰٤٤	۰/۰۱۳
پیشانی	فرونتوپولار	-۰/۰٤۰	۰/۰۳۱	۰/۲۰۲
	گیجگاهی	۰/۰۸۰	۰/۰۳٦	۰/۰۳٤
	آهیانه‌ای	۰/۰٦۵	۰/۰۳۱	۰/۰٤۵
	پس‌سری	۰/۰۷۵	۰/۰۳۹	۰/۰٦۷
گیجگاهی	فرونتوپولار	-۰/۱۲۰	۰/۰٤۱	۰/۰۰٦
	پیشانی	-۰/۰۸۰	۰/۰۳٦	۰/۰۳٤
	آهیانه‌ای	-۰/۰۱۵	۰/۰۳٦	۰/٦۸۰
	پس‌سری	-۰/۰۰۵	۰/۰۳۱	۰/۸٦۰
آهیانه‌ای	فرونتوپولار	-۰/۱۰٦	۰/۰۳٤	۰/۰۰٤
	پیشانی	-۰/۰٦۵	۰/۰۳۱	۰/۰٤۵
	گیجگاهی	۰/۰۱۵	۰/۰۳٦	۰/٦۸۰
	پس‌سری	۰/۰۰۹	۰/۰۲٦	۰/۷۲۱
پس‌سری	فرونتوپولار	-۰/۱۱۵	۰/۰٤٤	۰/۰۱۳
	پیشانی	-۰/۰۷۵	۰/۰۳۹	۰/۰٦۷
	گیجگاهی	۰/۰۰۵	۰/۰۳۱	۰/۸٦۰
	آهیانه‌ای	-۰/۰۰۹	۰/۰۲٦	۰/۷۲۱

نتایج حاصل از تفاوت فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر همگرا در نواحی قدامی و خلفی مغز بیانگر وجود تفاوت معنادار در ناحیه فرونتوپولار در مقایسه با نواحی خلفی مغز (گیجگاهی، آهیانه‌ای ، پس‌سری) است. همچنین تغییرات توان آلفا در ناحیه پیشانی نیز با نواحی گیجگاهی و آهیانه‌ای تفاوت معناداری را نشان می‌دهد، هرچند که این تفاوت در ناحیه پیشانی در مقایسه با ناحیه پس‌سری معنادار نبود. در ارتباط با بررسی همگام‌سازی امواج آلفا در نواحی خلفی مغز نیز تفاوت معناداری در تغییرات توان

باند آلفا در موقعیت تفکر همگرا در بین این نواحی مشاهده نگردید.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با استفاده از EEG به بررسی تفاوت‌های همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در نواحی قدامی و خلفی مغز در موقعیت تفکر واگرا در مقایسه با تفکر همگرا پرداخته شد. همگام‌سازی و ناهمگام‌سازی مشاهده شده در نواحی مختلف مغز در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا را می‌توان در ارتباط با استراتژی‌های متفاوت استفاده شده در انجام تکالیف واگرا و همگرا دانست. در این راستا نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در موقعیت تفکر واگرا فعالیت زیاد ساختارهای ناحیه پیش‌پیشانی مشاهده شد که با کارکرد توجه متمرکز درونی مرتبط است، در حالی که در موقعیت تفکر همگرا افراد ممکن است که استراتژی‌های نزولی[1] را که بیشتر در نواحی آهیانه‌ای مستقرند را مورد استفاده قرار دهند (جائوک[2] و همکاران، ۲۰۱۲).

به طور معمول تکالیف تفکر همگرا معمولا در پردازش محرک‌های انتزاعی پیچیده درگیر هستند، بنابراین می‌توان گفت که بسیاری از تکالیف تفکر همگرا، نیازمند پردازش‌های صعودی پیوسته از خصایص محرک‌های مربوطه هستند. اما در مقابل، تکالیف تفکر واگرا، معمولا درگیر در محرک‌های ادراکی محسوس هستند که می‌توانند به آسانی در حافظه نگه‌داری شوند. از این رو، حل موفقیت‌آمیز مسائل در چنین تکالیفی، متکی بر فرآیندهای بازیابی درونی و بازترکیب ارتباطات معنایی از مفهوم محرک‌ها است، که از این طریق نیاز به پردازش صعودی بیشتر از محرک‌ها به حداقل می‌رسد. از آنجایی که تفکر واگرا عمدتا درگیر در خواسته‌های پردازش درونی بالا است، همگام‌سازی امواج آلفا در طول تفکر واگرا می‌تواند نشان‌دهنده افزایش تمرکز یا آمادگی بیشتر مدارت مغزی درگیر شده در این نوع تفکر باشد. در بررسی معناداری کارکردی فعالیت امواج آلفا و بتا، نشان داده شده است که توان آلفا در تکالیف دریافت_حسی[3] متکی بر پردازش اطلاعات بیرونی در مقایسه با تکالیف رد_دریافت[4] که نیازمند پردازش محرک‌های حسی بیرونی نیستند، پایین‌تر است. بر این اساس، فعالیت امواج آلفا نشان‌دهنده خواسته‌های توجهی است و در تکالیف متمرکز بر توجه درونی در مقایسه با تکالیف متمرکز بر توجه بیرونی بالاتر است. بنابراین می‌توان گفت که فعالیت امواج آلفا نقش مهمی بر کارکرد توجه با پشتیبانی از فرآیندهایی در درون کانون توجه و بازداری فرآیندهای که بیرون از کانون توجه قرار دارند ایفا می‌کند (بندک و جائوک، ۲۰۱۹).

نکته دیگری را که می‌توان در رابطه با این تفاوت فعالیت درنظرگرفت ظرفیت حافظه و یا درگیری قوی‌تر حافظه‌کاری در موقعیت تفکر واگرا است. بدین صورت که موقعیت تفکر واگرا

1. top-down
2. Jauk
3. sensory-intake tasks
4. intake-rejection task

نیازمندی بیش‌تری به درگیرشدن حافظه کاری به منظور نگهداری و بازترکیب اطلاعات دارد، در صورتی که در موقعیت تفکر همگرا درگیری حافظه کاری کمتر است، چرا که در این موقعیت ذخیره‌سازی یا عملکرد حافظه کاری از طریق پردازش صعودی محرک‌ها کاهش می‌یابد و بیشتر حافظه بلند مدت به منظور بازیابی اطلاعات و ارائه راه حل‌های 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 شده بیرونی هستند که این موضوع خود در افزایش ناهمگام‌سازی آلفا در زمان ذخیره‌گذاری یا عملکرد حافظه در تکالیفی که نیازمند حفظ توجه هدایت‌شده بیرونی بوده‌اند، مشاهده شده است (نئوبائر[1] و فینک، ۲۰۰۳). بررسی‌های جامع انجام شده در حوزه عصب شناختی و روانشناسی خلاقیت، بر نقش مهم و اساسی مدارهای قشر فرونتال در خلاقیت تاکید داشته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که خلاقیت نیازمند توانایی‌های شناختی از قبیل حافظه کاری، توجه پایدار و انعطاف‌پذیری شناختی است که معمولا این کارکردها به قشر فرونتال مغز نسبت داده می‌شوند. حافظه کاری سیستم فعال و پویایی از مغز است که جهت انجام تکالیف شناختی سطح بالا مانند استدلال، یادگیری، تفکر، خلاقیت و همچنین بازیابی و ارسال اطلاعات به حافظه بلند مدت نقش دارد (ملبی لرواگ و هولمه[2]، ۲۰۱۳؛ به نقل از اکبری‌فر و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این می‌توان گفت که حافظه کاری توانایی پردازش اطلاعات به صورت آنی را فراهم می‌کند و یک سیستم نظارتی از وقایع در حال انجام است که به صورت موقت اطلاعات مربوط به موقعیت‌ها را در ذهن نگه می‌دارد و با انجام عملیات بر روی این اطلاعات آن‌ها را دستکاری می‌کند(واندا و راس[3]، ۲۰۱۹). نورون‌های نواحی گیجگاهی، آهیانه‌ای و پس‌سری که رمزگشایی اطلاعات حسی را انجام می‌دهند به بازنمایی اطلاعاتی که در حافظه کاری موجود هستند می‌پردازد. از آنجایی که حافظه کاری قادر به پردازش اطلاعات به صورت آنی است، به نظر می‌رسد که میانگین حافظه کاری پیش‌نیاز اصلی برای انعطاف‌پذیری شناختی، تفکر انتزاعی، برنامه‌ریزی استراتژیک، دسترسی به حافظه بلند مدت و شناخت حسی باشد که با کمک کردن به افراد برای نگهداری دانش در ذهنشان نقش ویژه‌ای را در شکل‌گیری تفکر خلاق ایفا می‌کند. به عنوان مثال، انعطاف‌پذیری شناختی که توانایی برای شکستن قوانین معمولی تفکر، اتخاذ استراتژی‌های جدید و ساختن ترکیبات ابتکاری از دانش ذخیره شده در حافظه بلند مدت است، به عنوان مفهومی کلیدی

1. Neubauer

2. Melby-Lervåg&Hulme

3. Wianda &

از تفکر واگرا در نظر گرفته می‌شود. بنابراین از آنجایی که دانش ذخیره شده در حافظه بلندمدت و همچنین توانایی برای یکپارچه‌سازی و ترکیب آن‌ها برای تولید خروجی‌های خلاقانه توسط مدرات قشرفرونتال میانجی‌گری می‌شود می‌توان گفت که قشر فرونتال در تعیین ایده‌های ابتکاری از ایده‌های معمولی می‌تواند نقش حیاتی و بسیار مهمی را ایفا کند (فینک و بندک، ۲۰۱۹).

پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با اتصالات کارکردی شبکه‌های مغز در ایجاد خلاقیت بیانگر ارتباطات قوی و وسیع بین ناحیه پیشانی و آهیانه‌ای پس‌سری و همچنین میان ناحیه پیشانی و گیجگاهی در مراحل ثانویه فرآیندهای تفکر خلاق است (بیتی[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۸؛ رومینجر و همکاران، ۲۰۱۹). این افزایش ارتباطات کارکردی همزمان با مراحل بعدی فرآیندهای تفکر خلاق است که به صورت معمول با افزایش خواست‌های اجرایی[2] مانند بازداری ایده‌های غالب و اولیه به منظور یافتن راه‌حل‌های ابتکاری و خلاقانه مشخص می‌شود (چانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۶؛ رومینجر و همکاران، ۲۰۱۸). الگوی کلی نتایج به دست آمده در این پژوهش و همچنین نتایج به دست آمده در پژوهش انجام شده توسط رومینجر و همکاران (۲۰۲۰) که به بررسی اتصالات کارکردی شبکه‌های مغزی در طی تولید و بسط ایده‌های خلاقانه پرداختند هم‌راستا با نتایج مطالعات ذکرشده است. در این پژوهش اتصالات کارکردی ناحیه پیشانی مغز از مرحله تولید به مرحله بسط ایده‌های خلاقانه با افزایش فعالیت همراه بود که این خود به صورت کلی بر اهمیت فرآیندهای کنترل اجرایی[4] به منظور پیشرفت در فرآیندهای تفکر خلاق تاکید می‌کند.

شواهد به دست آمده در ارتباط با تغییرات توان باند آلفا نشان می‌دهد که همگام‌سازی فعالیت آلفا می‌تواند به عنوان یک همبسته کارکردی عملکرد تکالیف شناختی فعال مشاهده شود که احتمالا درگیر در فرآیندهای بازداری شناختی است. در برخی پژوهش‌ها نیز گزارش شده است که که همگام‌سازی امواج آلفا در طول تفکر واگرا می‌تواند منعکس کننده یک مکانیسم بازداری باشد که مانع از پردازش اطلاعات نزولی وارد شونده از ورودی‌های حسی می‌شود (ون دریل[5] و همکاران، ۲۰۱۷).مشابه این ایده را نیز سواسنگ[6] و همکاران (۲۰۰۵) مطرح کرده‌اند که بازداری نزولی انتخابی در قشر فرونتال تا زمانی که پردازش اطلاعات به صورت مداوم در حال انجام است درگیر در فعالیت‌های جدید نمی‌شود، که این خود می‌تواند روشنگر همگام‌سازی امواج آلفا در ناحیه پیشانی مغز باشد. براساس مطالعات نظری و آزمایشگاهی انجام گرفته در این حوزه فرض می‌شود که خلاقیت براساس یک چهارچوب شناختی به عنوان یک سیستم کارکردی در نظر گرفته می‌شود که شامل تعامل

1. Beaty
2. executive demands
3. Cheng
4. executive control
5. van Driel
6. Sauseng

کارکردهـــای شـــناختی در نیمکـــره‌هـــای مغـــز و همچنین کارکردهای اجرایی لـوب پیشـانی اسـت (چان، بتی[1] و همکاران، ۲۰۱۹).

مشابه با تحقیقات انجام گرفته در نوروفیزولوژی هوش که مکررا بر نقش برجسته قشر پری‌فرونتال در حافظه‌کاری، هوش یا استدلال سیال[2] تاکید داشته‌اند، به نظر می‌رسد که نقش قشر فرونتال در حل مسائل به صورت خلاقانه حیاتی باشد(بندک و همکاران، ۲۰۱٤). پژوهشگران معتقدند که قشر فرونتال مسئول جنبه‌های بسیار مهمی از رفتار انسان مانند برنامه‌ریزی، توجه انتخابی، تصمیم‌گیری یا رفتار مبتنی بر هدف است (کارلسون و همکاران، ۲۰۰۰). در بررسی‌های انجام گرفته در رابطه با مکانیسم‌های احتمالی درگیر در نوآوری‌های خلاقانه بر نقش لوب فرونتال در رشد و توسعه استراتژی‌ها و راه‌حل‌های گوناگونی که در تفکر واگرا بسیار مهم است تاکید کرده‌اند (هیلمن[3] و همکاران،۲۰۰۳). به منظور توضیح چگونگی نقش قشر فرونتال در خلاقیت، فرض شده است که افراد خلاق تمایل به نقص در بازداری شناختی دارند که این خود وابسته به کارکرد کامل و بدون نقص لوب فرونتال است. بنابراین همگام‌سازی مشاهده شده امواج آلفا در ناحیه فرونتال احتمالا اشاره به این امکان دارد که ناحیه فرونتال مغز نیاز به آرامش و آرمیدگی در رابطه با تولید ایده‌های ابتکاری، اصیل و منحصر به فرد دارد. بنابراین همان‌گونه که فعال‌سازی ناحیه فرونتال در پرداش حافظه‌کاری و استدلال سیال مورد نیاز است، کاهش فعال‌سازی یا آرمیدگی این قشر در زمان بروز نوآوری‌های خلاقانه ضروری به نظر می‌رسد. از این رو می‌توان گفت که علاوه بر حالت زودگذر هایپوفرونتالیتی[4] در طول تجارب سلاست[5]، یک بازداری یا سرکوب موقتی از کارکردهای تحلیلی یا فراشناختی ناحیه فرونتال مغز در ایجاد خلاقیت ضروری به نظر می‌رسد (بندک و فینک، ۲۰۱۹).

ناهمگام‌سازی مشاهده شده در موقعیت تفکر همگرا در نواحی گیجگاهی، آهیانه‌ای و پس‌سری همسو با نتایج استات و نئوبائر (۲۰۰٦) است. آن‌ها در پژوهش خود تفاوت‌های فعالیت امواج آلفا مغز را در بین افراد موفق و ناموفق بررسی کردند. شرکت‌کنندگان براساس نمرات تحصیلی دانشگاهی خود به دو گروه تقسیم و تکلیف استفاده‌های غیر معمول را انجام دادند. نتایج به دست آمده حاکی از این است که افراد ناموفق ناهمگام سازی وابسته به رویداد پایین‌تری در نواحی پیشانی قدامی، پیشانی مرکزی و گیجگاهی مرکزی نسبت به افراد موفق نشان دادند. از سوی دیگر افراد موفق، ناهمگام‌سازی وابسته به رویداد پایین‌تر در نواحی آهیانه‌ای مرکزی، پاریتوتمپورال و پاریتواکسیپیتال نسبت به افراد ناموفق نشان دادند. یک شیوه برای تبیین ناهمگام‌سازی مشاهده شده در طول تفکر همگرا

1. Chen& Beaty
2. fluid reasoning
3. Heilman
4. hypofrontality
5. experience of flow

در نواحی خلفی مغز این است که این نواحی همراه با ناحیه آهیانه‌ای در زمینه ترکیب رمزی و محاسبات ریاضی نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند، چرا که اینگونه تکالیف دارای عناصر فضایی هستند و عناصر فضایی هم در نواحی خلفی مغز مورد پردازش قرار می‌گیرند، و از آنجایی که تکالیف مورد استفاده شده برای سنجش تفکر همگرا نیازمند فعالیت‌های محاسبه‌ای بودند بنابراین منجر به افزایش سطح انگیختگی و ناهمگام‌سازی امواج آلفا در این نواحی شد که خود نشان از کاهش فعالیت امواج آلفا دارد. در پژوهش حاضر، نتایج به دست‌آمده حاصل از تغییرات توان باند آلفا در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا با الگوهای فعالیت متفاوت در نواحی قدامی و خلفی مغز همراه بود؛ به صورتی که در موقعیت تفکر واگرا شاهد افزایش گام به گام توان باند آلفا (همگام‌سازی) از نواحی قدامی به نواحی خلفی بوده‌ایم. در مقابل، در موقعیت تفکر همگرا فعالیت امواج آلفا در نواحی قدامی با افزایش فعالیت بیش‌تری همراه بود که این فعالیت در نواحی خلفی مغز کاهش توان باند آلفا (ناهمگام‌سازی) را در این نواحی در مقایسه با نواحی قدامی نشان داد.

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به انتخاب نمونه مورد مطالعه در این پژوهش اشاره کرد. از آنجایی که این پژوهش بر روی دانشجویان تحصیلات تکمیلی انجام گرفته است تعمیم آن به دانشجویان دوره کارشناسی روا نیست. علاوه بر این، طولانی بودن زمان ثبت امواج در این پژوهش منجر به ایجاد خستگی در آزمودنی‌ها می‌شد. در نهایت می‌توان گفت که پژوهش مورد نظر در شرایط آزمایشگاهی انجام شده است و از آنجایی که رفتار و کنش‌های افراد در شرایط طبیعی معمولا با شرایط آزمایشگاهی تا حدودی تفاوت دارد، این موضوع تا حدودی تعمیم نتایج به شرایط زندگی واقعی را دشوار می‌کند.

سپاسگزاری

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

منابع

اکبری‌فر ح، شریفی‌درآمدی پ، رحیم‌زاده ح، پزشک ش (۱۳۹۸). اثر بخشی مداخله بازی‌های فعال بر حافظه کاری دانش‌آموزان با اختلال خواندن. فصلنامه عصب–روانشناسی. ۵ (۱)، ۱۶۲–۱۴۹.

بیرامی، م؛ نظری،م ؛عندلیب کورایم، م (۱۳۹۰). بررسی میزان هم‌نوسانی الگوهای امواج مغزی باند تتا در تفکر همگرا و واگرا. مجله تازه‌های علوم شناختی،۲، ۸–۱.

دانا الف، شمس الف (۱۳۹۸). اثربخشی مداخلات توانبخشی شناختی مغز بر کارکردهای اجرایی در کودکان مبتلا به نقص توجه و بیش‌فعالی. فصلنامه عصب–روانشناسی. ۵ (۳)، ۱۳۱–۱۴۰.

صبوری مقدم، ح.(۱۳۸۷). تاثیر دستکاری انگیزشی و سیستم‌های مغزی–رفتاری در سرعت هدایت عصبی.رساله دکتری، دانشگاه تبریز.

Agnoli, S., Zanon, M., Mastria, S., Avenanti, A., & Corazza, G. E. (2018). Enhancing creative cognition with a rapid right-parietal neurofeedback procedure. *Neuropsychologia*, *118*, 99-106.

Beaty, R. E., Benedek, M., Kaufman, S. B., & Silvia, P. J. (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production. *Scientific reports*, *5*, 10964

Benedek, M., & Fink, A. (2019). Toward a neurocognitive framework of creative cognition: The role of memory, attention, and cognitive control. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *27*, 116-122.

Benedek, M., & Jauk, E. (2019). 10 Creativity and Cognitive Control. *The Cambridge Handbook of Creativity*, 200.

Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, *46*, 73-83.

Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, *19*(12), 2767-2796.

Carlsson, I., Wendt, P. E., & Risberg, J. (2000). On the neurobiology of creativity. Differences in frontal activity between high and low creative subjects. *Neuropsychologia*, *38*(6), 873-885.

Chen, Q., Beaty, R. E., Cui, Z., Sun, J., He, H., Zhuang, K., ... & Qiu, J. (2019). Brain hemispheric involvement in visuospatial and verbal divergent thinking. *NeuroImage*, *202*, 116065.

Cheng, L., Hu, W., Jia, X., & Runco, M. A. (2016). The different role of cognitive inhibition in early versus late creative problem finding. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *10*(1), 32.

Claridge, G., & McDonald, A. (2009). An investigation into the relationships between convergent and divergent thinking, schizotypy, and autistic traits. Personality and Individual Differences, 46(8), 794-799.

Fink, A., & Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *44*, 111-123.

Fink, A., & Benedek, M. (2019). The Neuroscience of Creativity. *Neuroforum*, *25*(4), 231-240.

Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2006). Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization. *European Journal of Neuroscience*, *23*(8), 2241-2246.

Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *NeuroImage*, *46*(3), 854-862.

Fink, A., Rominger, C., Benedek, M., Perchtold, C. M., Papousek, I., Weiss, E. M., ... & Memmert, D. (2018). EEG alpha activity during imagining creative moves in soccer decision-making situations. *Neuropsychologia*, *114*, 118-124.

Fink, A., Schwab, D., & Papousek, I. (2011). Sensitivity of EEG upper alpha activity to cognitive and affective creativity interventions. *International Journal of Psychophysiology*, *82*(3), 233-239.

Fink, A., Weiss, E. M., Schwarzl, U., Weber, H., de Assunção, V. L., Rominger, C., ... & Papousek, I. (2017). Creative ways to well-being: Reappraisal inventiveness in the context of anger-evoking situations. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *17*(1), 94-105.

Heilman, K. M., Nadeau, S. E., & Beversdorf, D. O. (2003). Creative innovation: possible brain mechanisms. Neurocase, 9(5), 369-379.

Jaarsveld, S., Fink, A., Rinner, M., Schwab, D., Benedek, M., & Lachmann, T. (2015). Intelligence in creative processes: An EEG study. *Intelligence*, *49*, 171-178.

Jauk, E., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2012). Tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing. *International Journal of Psychophysiology*, *84*(2), 219-225.

Jaušovec, N. (2000). Differences in cognitive processes between gifted, intelligent, creative, and average individuals while solving complex problems: an EEG stuy. *Intelligence*, *28*(3), 213-237.

Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., ... & Kounios, J. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS biology*, *2*(4), e97.

Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis. *Brain research reviews*, *53*(1), 63-88.

Lopata, J. A., Nowicki, E. A., & Joanisse, M. F. (2017). Creativity as a distinct trainable mental state: an EEG study of musical improvisation. *Neuropsychologia*, *99*, 246-258.

Martindale, C. (1999). Biological bases of creativity. *Handbook of creativity*, *2*, 137-152.

Martindale, C., & Hasenfus, N. (1978). EEG differences as a function of creativity, stage of the creative process, and effort to be original. *Biological psychology*, *6*(3), 157-167.

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

Neubauer, A. C., & Fink, A. (2003). Fluid intelligence and neural efficiency: effects

of task complexity and sex. *Personality and Individual Differences*, *35*(4), 811-827.

Neuper, C., & Klimesch, W. (Eds.). (2006). *Event-related dynamics of brain oscillations* (Vol. 159). Elsevier.

Razoumnikova, O. M. (2000). Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation. Cognitive Brain Research, 10(1), 11-18.

Razumnikova, O. M. (2004). Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG investigation in human subjects. *Neuroscience Letters*, *362*(3), 193-195.

Rominger, C., Papousek, I., Perchtold, C. M., Benedek, M., Weiss, E. M., Schwerdtfeger, A., & Fink, A. (2019). Creativity is associated with a characteristic U-shaped function of alpha power changes accompanied by an early increase in functional coupling. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *19*(4), 1012-1021.

Rominger, C., Papousek, I., Perchtold, C. M., Benedek, M., Weiss, E. M., Weber, B., ... & Fink, A. (2020). Functional coupling of brain networks during creative idea generation and elaboration in the figural domain. *NeuroImage*, *207*, 116395.

Rominger, C., Papousek, I., Perchtold, C. M., Weber, B., Weiss, E. M., & Fink, A. (2018). The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. *Neuropsychologia*, *118*, 13-19.

Rominger, C., Papousek, I., Weiss, E. M., Schulter, G., Perchtold, C. M., Lackner, H. K., & Fink, A. (2018). Creative thinking in an emotional context: Specific relevance of executive control of emotion-laden representations in the inventiveness in generating alternative appraisals of negative events. *Creativity Research Journal*, *30*(3), 256-265.

Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pecherstorfer, T., Freunberger, R., & Hanslmayr, S. (2005). EEG alpha synchronization and functional coupling during top-down processing in a working memory task. *Human brain mapping*, *26*(2), 148-155.

Staudt, B., & Neubauer, A. C. (2006). Achievement, underachievement and cortical activation: a comparative EEG study of adolescents of average and above-average intelligence. *High Ability Studies*, *17*(1), 3-16.

van Driel, J., Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. (2017). Local and interregional alpha EEG dynamics dissociate between memory for search and memory for recognition. *Neuroimage*, *149*, 114-128.

Wianda, E., & Ross, B. (2019). The roles of alpha oscillation in working memory retention. *Brain and behavior*, *9*(4), e01263.

Zhou, S., Chen, S., Wang, S., Zhao, Q., Zhou, Z., & Lu, C. (2018). Temporal and spatial patterns of neural activity associated with information selection in open-ended
creativity. *Neuroscience*, *371*, 268-276.