

Electrical Activity of Different Brain Regions in Explicit and Implicit Learning of a Motor Skill in Adolescent Girls with Cold Executive Functions: An Electroencephalography Study

Nazli Ilchizadeh¹, Mohammad Taghi Aghdasi^{2✉}, Zahra Fathirezaei³

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
E-mail: n.sport60@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: mt_ghdasi@tabrizu.ac.ir
3. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
E-mail: z.fathirezaie@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type: Research

Article history:

Received:
10 July 2024
Received in revised form:
27 September 2024
Accepted:
16 October 2024
Published online:
23 September 2025

Keywords:

Brain Electrical Activity,
Executive Functions,
Explicit Learning,
Implicit Learning.

ABSTRACT

Introduction: Executive functions control, direct, and coordinate cognitive processes. This research aimed to compare the electrical activity of different brain regions during implicit and explicit learning of a motor skill in teenage girls with cold executive functions.

Methods: The research method was quasi-experimental, with a pre-test and post-test design. Twenty girls aged 12 to 14 years were selected purposefully based on their scores on CogLab tests and assigned to two Explicit Learning and Implicit Learning groups. In the pre-test phase, participants performed 15 dart throws while brain waves were recorded using an EEG device. Then, both groups participated in 60-minute training sessions for five consecutive days, based on different instructional approaches. After completing the training, a retention and a transfer test were conducted on the sixth day. The results were analyzed using MATLAB, SPSS, and Excel software at a significance level of 0.05.

Results: The results showed that the neural response in the form of brain wave activity across five brain regions—DLPFC, OFC, CF, Frontal, and All Frontal—was significant in the explicit learning group but not significant in the implicit learning group.

Conclusion: Based on the present results, it can be said that the explicit learning method causes positive changes at the level of the cerebral cortex, whereas implicit learning requires long-term strengthening. Therefore, explicit learning can be an effective short-term intervention to modulate brain activity and facilitate motor skill learning in individuals with cold executive functions.

Cite this article: Ilchizadeh, N., Aghdasi, M. T., & Fathirezaei, Z. (2025). Electrical Activity of Different Brain Regions in Explicit and Implicit Learning of a Motor Skill in Adolescent Girls with Cold Executive Functions: An Electroencephalography Study. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (3), 33-56.
[DOI: https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379083.1789](https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379083.1789)



Journal of Sports and Motor Development and Learning by University of Tehran Press is licensed under [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) web sit

© The Author(s).

Publisher: University of Press.

Extended Abstract

Introduction

Executive functions refer to a broad range of complex cognitive processes that help regulate thoughts and emotions, as well as plan, monitor, and control behavior to achieve specific goals (Lin et al., 2019). These functions encompass essential abilities such as attention, working memory, decision-making, self-initiation, strategic planning, response inhibition, cognitive flexibility, impulse control, and the execution of academic tasks. They enable individuals to manage daily life tasks and control their intellectual functions (Englehardt et al., 2019). Cold executive functions comprise skills like planning, cognitive flexibility, working memory, and monitoring behaviors. This study also differentiates between explicit and implicit learning, which are two distinct learning methods. Explicit learning involves conscious engagement in learning, where individuals are aware of the goals and methods needed to acquire a skill. In contrast, implicit learning occurs without the learner's conscious realization, leading to skill acquisition without active awareness of the learning process. It remains unclear whether the impacts of these training types can be generalized across different levels of motor learning. The involvement of various brain regions in executive functions during response selection highlights a significant interconnection between these cognitive processes. Previous research into the neuroscience of executive functions has largely relied on animal studies or limited investigations of patients with frontal lobe damage. However, modern brain imaging techniques provide highly detailed insights into this field. To address gaps in previous research, this study aims to investigate the electrical responses of different brain regions during explicit and implicit motor skill learning among adolescent girls exhibiting cold executive functions. The goal is to determine changes in brain wave activity across various brain regions during these learning processes and to explore any differences in brain waves between adolescents with cold executive functions engaged in explicit versus implicit learning.

Methods

This research utilized a quasi-experimental design, incorporating both pre-tests and post-tests. The study involved 20 female students aged 12 to 14, who were divided into two groups: the explicit learning group (10 participants) and the implicit learning group (10 participants). The tools used in this study included a dartboard to measure motor skills, CogLab software to assess cold executive functions, and a 30-channel active electroencephalography (EEG) device to record brain activity. Over a span of five days, participants practiced

for 60 minutes each day. The explicit learning group received direct instruction, while the implicit learning group practiced without specific guidelines. At the end of the study, retention and transfer tests were conducted to evaluate skill acquisition and transfer, and EEG data were analyzed to assess brain activity.

Results

The results revealed significant differences in brain electrical activity between the explicit and implicit learning groups. In the explicit learning group, there was a notable increase in brainwave activity in areas associated with decision-making and cognitive control, such as the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) and the frontal cortex. This increase indicates greater cognitive engagement during explicit learning. Conversely, the implicit learning group showed minimal changes in brainwave activity, particularly in regions related to unconscious processing, such as the orbitofrontal cortex (OFC). The study highlighted significant differences in brainwave activity during explicit learning. Notable variations in delta waves were observed between the pre-test, retention, and transfer stages across various brain regions, including the DLPFC, OFC, central frontal cortex (CF), and other frontal areas. Theta waves also displayed significant differences between the learning stages (pre-test, retention, and transfer) in the DLPFC, OFC, CF, and frontal regions. Additionally, alpha waves showed differences between the pre-test and retention stages in the OFC, CF, and frontal areas. Beta waves revealed significant differences between the retention and transfer stages in the CF and across all frontal regions. These findings demonstrate that explicit learning has a significant impact on brainwave activity.

Conclusion

This research indicates that explicit learning significantly impacts the improvement of cold executive functions. The findings are consistent with studies by Jones et al. (2015), Nasiri et al. (2023), and Dong & Li (2012). Specifically, Jones et al. (2015) confirmed improvements in attention, memory, and adaptability through enhanced cold executive functions. Nasiri et al. (2023) demonstrated that both implicit and explicit learning conditions lead to similar performance improvements. Additionally, Dong and Li (2012) confirmed the varying effects of different learning processes on cold executive functions by examining the brain networks involved in learning. For future research, it would be beneficial to investigate chaining skills and compare them with discrete skills, such as dart throwing, to gain further insights into the effects of explicit and implicit learning. Analyzing the impact of short-term versus long-term training sessions on learning could

also help optimize educational methods. Furthermore, using larger and more diverse samples, including groups such as students and individuals with specific disorders, could enhance our understanding of how education impacts executive functions. Overall, the results of this study indicate that explicit learning significantly influences students' cold executive functions. As individuals enhance their executive function skills, they are likely to develop more active and capable brains. Consequently, they can optimize these skills to improve attention, focus, and comprehension, set clearer learning goals, complete tasks more effectively, and achieve better learning outcomes.

Ethical considerations

Compliance with ethical guidelines: The article has received ethics approval for research from Tabriz University, with the reference number IR.TABRIZU.REC.1403.033.

Funding: The article did not receive funding from any organization.

Contribution of authors: All authors contributed equally to the writing of the article.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Acknowledgments: We appreciate all of our contributors.



فعالیت الکتریکی مناطق مختلف مغز در یادگیری آشکار و پنهان یک مهارت حرکتی در دختران نوجوان با کارکردهای اجرایی سرد (مطالعه الکترونسفالوگرافی)

نازلی ایلچی زاده^۱ ID، محمدتقی اقدسی^۲ ID، زهرا فتحی رضایی^۳ ID

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: n.sport60@gmail.com
۲. نویسنده مسؤول، گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mt_aghdsi@tabrizu.ac.ir
۳. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: z.fathirezaie@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	مقدمه: کارکردهای اجرایی فرایندهای شناختی را کنترل، هدایت و هماهنگ می کنند. هدف تحقیق حاضر مقایسه فعالیت الکتریکی مناطق مختلف مغز در یادگیری آشکار و پنهان یک مهارت حرکتی در دختران نوجوان با کارکردهای اجرایی سرد است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱	روش پژوهش: روش تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی، با طرح پیش آزمون و پس آزمون بود که ۲۰ دختر ۱۲ تا ۱۴ ساله بصورت هدفمند بر اساس نمره آزمون های کاکلب انتخاب و در دو گروه یادگیری آشکار و پنهان قرار گرفتند. در مرحله پیش آزمون افراد ۱۵ پرتاب دارت داشتند و همزمان امواج مغزی با دستگاه الکترونسفالوگرافی ثبت شد. سپس هر دو گروه به مدت پنج روز متوالی با آموزش های متفاوت جلسات تمرینی ۶۰ دقیقه ای را پشت سر گذاشتند. بعد از اتمام تمرینات، روز ششم آزمون یادداری و انتقال انجام شد. نتایج با استفاده از نرم افزار متلب، اس پی اس اس و اکسل در سطح معناداری ۰/۰۵ تحلیل شد.
کلیدواژه ها: فعالیت الکتریکی مغز، کارکردهای اجرایی، یادگیری آشکار، یادگیری پنهان.	یافته ها: نتایج نشان داد پاسخ بخش های مختلف سیستم عصبی در قالب انواع امواج مغزی در پنج منطقه مغز DLPFC، All Frontal، Frontal، CF، OFC به روش یادگیری آشکار معنادار بوده است و به روش یادگیری پنهان معنادار نبوده است.
	نتیجه گیری: براساس نتایج حاضر می توان گفت روش یادگیری آشکار باعث ایجاد تغییرات مثبتی در سطح قشر مغزی می شود ولی یادگیری پنهان نیاز به تقویت بلندمدت دارد. بنابراین، یادگیری آشکار می تواند یک مداخله مؤثر برای بهبود امواج مغزی و ارتقای یادگیری مهارت حرکتی در افراد با کارکرد اجرایی سرد در کوتاه مدت باشد.

استناد: ایلچی زاده، نازلی؛ اقدسی، محمدتقی؛ و فتحی رضایی، زهرا (۱۴۰۴). فعالیت الکتریکی مناطق مختلف مغز در یادگیری آشکار و پنهان یک مهارت حرکتی در دختران نوجوان با کارکردهای اجرایی سرد (مطالعه الکترونسفالوگرافی). نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، ۱۷(۳)، ۵۶-۳۳.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jsmidl.2024.379083.1789>

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی رایت CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده است. تارنما: <https://jsmdl.ut.ac.ir> رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir



مقدمه

چگونگی سازماندهی تمرین برای یادگیری مؤثر همواره یکی از زمینه‌های مفید برای بحث و پژوهش در اکتساب مهارت‌های حرکتی بوده است؛ از این رو همواره یکی از اهداف مهم پژوهش‌ها در یادگیری حرکتی انسان، شناسایی تمرینی است که یادگیری مهارت حرکتی را به حد مطلوب برساند (نظری کاکوند و همکاران، ۲۰۲۱). براساس نظریه‌های سنتی یادگیری حرکتی، درگیری آگاهانه زیادی در اکتساب مهارت‌های حرکتی اولیه وجود دارد که در آن اجراکننده تلاش می‌کند به کشف الگوهای حرکت مؤثر و کارآمد برای اجرای مهارت دست یابد. چنین آگاهی و دانشی از اطلاعاتی که یادگیرندگان می‌توانند به طور شفاهی توصیف کنند، به دست می‌آید؛ در نتیجه اجراکننده مجموعه‌ای از قوانین صریح و روشن درباره چگونگی انجام دادن مهارت را کسب می‌کند. فرایند کنترل آگاهانه از منابع حافظه کاری که مسئول ذخیره‌سازی و دستکاری موقت اطلاعات در ذهن است، استفاده می‌کند (بوزارد^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). یادگیری یکی از فرایندهای شناختی پیچیده است، که به دو شکل آشکار و پنهان طبقه‌بندی می‌شود، اگر به فراگیر در مورد هدف و نحوه انجام تکلیف اطلاعات لازم داده شود این یادگیری صریح یا آشکار است اما اگر به فراگیر در مورد هدف و نحوه اجرای تکلیف اطلاعات لازم داده نشود یادگیری پنهان یا ضمنی گفته می‌شود (خلیل پور و همکاران، ۲۰۲۳). یادگیری پنهان، با کاهش نیاز توجه، عملکرد بهتری را هنگام اجرا به همراه دارد، زیرا توجه آشکار را از روی بخش‌های مهارتی منحرف می‌سازد (محمّدی و همکاران، ۲۰۱۶). زمانی اعتقاد بر این بود که یادگیری فرایندی واحد است. با این حال، مشخص شد در بیماری آسیب مغزی اکتسابی و سایر بیماری‌های فراموشی، علیرغم ناتوانی در حفظ و یادآوری حقایق، همچنان یادگیری اتفاق می‌افتد. بنابراین منجر به این تصور شد که حداقل دو شکل اصلی یادگیری وجود دارد: یکی، هیپوکامپ محتوای وابسته و اپیزودیک (یادگیری آشکار) و دیگری غیرهیپوکامپی و عمدتاً ناخودآگاه (یادگیری پنهان). در حالی که واضح است یادگیری آشکار و پنهان، سیستم‌های مغزی متمایز را درگیر می‌کنند، تفاوت‌ها در مکانیسم‌های عصبی آن‌ها کمتر واضح بوده است (لونیس^۲ و همکاران، ۲۰۱۷).

فرایند یادگیری یک فرایند شناختی است و شواهد علمی مربوط به اثرات مداخله‌های مبتنی بر فرایندهای شناختی، بسیار گسترده می‌باشد و یکی از عوامل پیش‌بینی کننده یادگیری حرکتی کارکردهای مغز و ذهن است که تحت عنوان کارکردهای اجرایی نامیده می‌شود. کارکردهای اجرایی اصطلاحی کلی است که تمام فرایندهای شناختی پیچیده و درگیر در تنظیم افکار، احساسات، برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل شناختی رفتار و هیجان‌ها تا رسیدن به هدف را در خود جای می‌دهد (لین^۴ و همکاران، ۲۰۱۹) و مجموعه‌ای از توانایی‌های مهم همچون توجه، حافظه کاری، تصمیم‌گیری، خود آغازگری، برنامه‌ریزی راهبردی، مهار پاسخ، انعطاف‌پذیری شناختی، کنترل تکانه و فعالیت‌های درسی را در بر می‌گیرد و در زندگی و انجام تکالیف یادگیری و کنترل کنش‌های هوش به انسان کمک می‌کند. در واقع از افکار و رفتارهای هدفمند پشتیبانی می‌کند (اینگلهارت^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). کارکردهای برنامه‌ریزی، انعطاف‌پذیری شناختی، حافظه کاری، نظارت بر رفتار و مهارت، جزو فرایندهای سرد کارکردهایی اجرایی محسوب می‌شوند زیرا فرایندهای شناختی مربوط به آن‌ها تمایل به تحریک عاطفی زیادی ندارند و نسبتاً منطقی هستند. مطالعات نشان داده است که اختلالات در اجزای سرد کارکردهایی اجرایی، ممکن است تأثیرات مخربی بر فعالیت‌های روزمره داشته باشد (چان^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). در این رابطه، زلازو^۷ (۲۰۱۵) به بررسی تأثیرات کارکردهای اجرایی

¹. Buszard

². Loonis

³. executive function

⁴. Lin

⁵. Engelhardt

⁶. Chan

⁷. Zelazo

سرد بر یادگیری حرکتی پرداخت و دریافت که مهارت کارکردهای اجرایی سرد باعث افزایش توجه، پیروی از قوانین و سازگاری در افراد می‌شود. **لونیس و همکاران (۲۰۱۷)** در تحقیق خود دریافتند که تکالیف یادگیری آشکار و پنهان الگوهای هماهنگ‌سازی عصبی متفاوتی را به دنبال انتخاب‌های صحیح در مقابل انتخاب‌های رفتاری نادرست دارند. همچنین **صالحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)** در تحقیق خود در مورد عملکردهای اجرایی سرد و گرم در مغز دریافتند قشر جلوی پیشانی جانبی همراه با قشر کمربندی قدامی پشتی برای عملکردهای اجرایی سرد مرتبط‌تر هستند. قشر سینگولیت قدامی شامل (ACC)، پشتی عمدتاً در کارکردهای اجرایی سرد درگیر است. در تحقیق **وازو^۳ و همکاران (۲۰۲۰)**، به بررسی مداخله فعالیت موزون بر بهبود مهارت‌های حرکتی و کارکردهای اجرایی پرداختند و دریافتند هر دو گروه فعالیت موزون و ورزش، در مهارت‌های تعادل و کارکرد اجرایی سرد بهبود یافتند. مزایای فرایندهای شناختی بر مراحل یادگیری با توجه به تحقیقات انجام شده در یادگیری تحصیلی تا حدودی روشن است، اما از آنجایی که یادگیری مهارت حرکتی ظرفیت پردازش اطلاعات متفاوتی دارند و از راهبردهای متفاوتی برای پردازش اطلاعات در یادگیری حرکتی که نیازمند حافظهٔ بینایی-فضایی، حافظهٔ بازشناسی شی و یادگیری با سطوح بالای تمرکز توجه است، استفاده می‌کنند و این تفاوت‌ها در توانایی شناختی ممکن است به تفاوت بین افراد در یادگیری حرکتی منجر شود. از این‌رو، این که بتوان آثار این نوع تمرین را به سایر سطوح یادگیری حرکتی تعمیم داد چندان روشن نیست و با توجه به درگیری بخش‌های مختلف مغز در کارکردهای اجرایی در انتخاب پاسخ صحیح وجود ارتباط عمیق بین آن‌ها و با در نظر گرفتن اینکه در گذشته یافته‌های مربوط به عصب‌شناسی کارکردهای اجرایی بیشتر از مطالعات حیوانی یا مطالعات انسانی بسیار محدود بر روی مغز افراد بیمار با ضایعه لوب فرونتال به دست آمده است، امروزه روش‌های تصویربرداری مغزی اطلاعات بسیار دقیقی در این زمینه ارائه می‌کند. با توجه به تحقیقات انجام شده و خلاءهای موجود در مطالعات گذشته، هدف پژوهش حاضر واکنش‌های الکتریکی مناطق مختلف مغز در یادگیری آشکار و پنهان یک مهارت حرکتی در دختران نوجوان با کارکردهای اجرایی سرد را نشان می‌دهد تا به این سوال پاسخ داده شود که چه امواجی در کدام بخش از مغز در فرایند یادگیری آشکار و پنهان تغییر یافته است و بین دو گروه آشکار و پنهان نوجوانان با کارکردهای اجرایی سرد در امواج مغزی تفاوت وجود دارد یا خیر؟

روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق حاضر نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود که با دو گروه (گروه اول تحت مداخله آموزش آشکار و گروه دوم تحت مداخله آموزش پنهان) به صورت آزمایشگاهی و با هدف کاربردی بودن انجام شد.

شرکت‌کنندگان

جامعه‌ی آماری مورد مطالعه ۸۲ نفر از دانش‌آموزان دختر ۱۲-۱۴ ساله یکی از مدارس اداره آموزش و پرورش ناحیه ۴ شهر تبریز بود که ۶۰ نفر به صورت تصادفی انتخاب شد. یکی از متغیرهای کنترل تحقیق انتخاب افراد با کارکرد اجرایی سرد بود و هدف ما انتخاب این افراد با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه بود. تعداد نمونه نیز با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور^۴ و با احتساب توان آماری ۰/۷۵، اندازه اثر ۰/۳ و خطای آلفا ۰/۰۵، در دو گروه تعداد ۲۰ نفر برآورد و به صورت غیر تصادفی هدفمند انتخاب شد. آزمودنی‌ها در دو گروه یادگیری آشکار (۱۰ نفر) و یادگیری پنهان (۱۰ نفر) تقسیم‌بندی شدند. بعد از شروع فرایند کار دو نفر از گروه یادگیری آشکار از ادامه کار انصراف دادند و تعداد نفرات

¹. Salehinejad

². Anterior Cingulate cortex

³. Vazou

⁴ G*power

به ۸ نفر رسید. سلامت جسمانی و روانی، نبود آسیب بدنی بخصوص در دست‌ها، نداشتن بیماری‌های دستگاه عصبی همچون تشنج، ام اس، هیدروسفالی، اختلالات خواندن و اوتیسم، نداشتن ضعف شدید بینایی (به استناد پرونده سلامت دانش‌آموزان)، نداشتن اضطراب مزمن (بنابه گزارش فرد)، عدم استفاده از داروهای آرام‌بخش، عدم آشنایی با رشته ورزشی پرتاب دارت (بنا به گزارش فرد) و علاقه به حضور در پژوهش به عنوان معیارهای ورود و استفاده از کفایت قبل تست و عدم علاقه به ادامه کار توسط آزمودنی به عنوان معیار خروج در نظر گرفته شد.

ابزار

دارت

تخته دارت به صورتی طراحی شده است که دایره‌ها با میله فلزی از هم جدا شده‌اند و این میله‌ها تخته دارت را به چهار قسمت مجزا تفکیک کرده است. اگر دارت بین دو میله اول خورده باشد عدد در ۲ ضرب می‌شود^۱ و اگر در بین دو میله دوم خورده باشد، عدد در ۳ ضرب خواهد شد^۲ و اگر بین میله سوم^۳ باشد امتیاز ۲۵ و اگر بین میله آخر و مرکز^۴ قرار گیرد، نمره ۵۰ به دست می‌آید و اگر داخل این میله‌ها نباشد عددی که روی آن است به تنهایی در نظر گرفته می‌شود^۵. چنانچه پرتاب خارج از محیط مشخص شده باشد امتیازی نخواهد داشت (مرادی و همکاران، ۲۰۱۵).

نرم افزار کاگلب^۶

نرم افزار ارزیابی شناختی کاگلب، یکی از نرم افزارهای معتبر در حوزه ارزیابی کارکردهای اجرایی و عملکردهای مغز و تشخیص ضعف‌ها و اختلالات شناختی می‌باشد. برا سنجش کارکرد اجرایی سرد از آزمون اثر استروپ^۷ و آزمون نشانه‌گذاری فضایی^۸ که زیرمجموعه‌ای از آزمون‌های کاگلب هستند، استفاده شد (صالحی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۱).

دستگاه اکتروانسفالوگرافی اکتیو ۳۰ کاناله^۹

به منظور ارزیابی درصد درگیری امواج مغزی در مناطق ۳۰ گانه مغز، از دستگاه اکتروانسفالوگرافی اکتیو بی‌سیم استفاده شد. این دستگاه محصول شرکت لیو فناوری هوشمند ساخت ایران است که دارای ۳۰ الکتروود فعال^{۱۰} است. پس از ثبت و جمع‌آوری داده‌ها، آن‌ها توسط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۸^{۱۱} و EEGlab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و آرتیفکت‌ها توسط الگوریتم‌های تصحیح همچون ICA در نرم‌افزار EEGlab حذف شدند (دانگ و لی، ۲۰۱۲).

روند اجرای پژوهش

1. Double Ring
2. Triple Ring
3. Bull
4. Double bull

5. Single Ring
6. CAGLAB
7. Stroop Test
8. Spatial Clueing

9. Active EEG
10. <http://www.llivv.com/fa/product-fa/electroencephalograph>
11. Matlab 2018

قبل از شروع تحقیق کلیه مراحل پژوهش، به طور دقیق و کامل توسط محقق در جلسه‌ای توجیهی برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و سپس فرم رضایت آگاهانه در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. پژوهش حاضر دارای کد اخلاق به شماره IR.TABRIZU.REC.1403.033 می‌باشد.

شیوه اجرای پژوهش به این صورت بود که برای انتخاب افراد با کارکرد اجرایی سرد از دو آزمون نشانه‌گذاری فضایی و آزمون اثر استروپ استفاده شد. سپس ۲۰ نفر از افرادی که نمره بالای ۷۵٪ در این دو آزمون بدست آوردند (نعمتی و باردل، ۲۰۲۰) به عنوان نمونه انتخاب و در دو گروه یادگیری آشکار و یادگیری پنهان به صورت تصادفی تقسیم‌بندی شدند. آزمودنی‌ها به عنوان پیش‌آزمون تکلیف پرتاب دارت را با ۱۵ تیر در فاصله پنج و نیم متری از سیبل انجام دادند (لواتسوک و رگیس، ۲۰۲۱) و همزمان امواج مغزی با دستگاه الکترونسفالوگرافی ثبت گردید. بدین ترتیب به سرآزمودنی‌ها کلاه مخصوص ثبت امواج مغزی شرکت سازنده مطابق سیستم ۱۰-۲۰ متصل شد. تمام الکترودها فعال، گراند و رفرنس روی کلاه و پشت گوش‌ها قرار داده شدند. سیگنال EEG نسبت به یک مرجع متوسط استخوان ماستوئید ثبت و نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰ هرتز انتخاب شد (فانگ و همکاران، ۲۰۲۲). امواج مغزی مورد تحلیل شامل امواج دلتا زیر ۴ هرتز، امواج تتا بین ۴ تا ۸ هرتز، امواج آلفا بین ۸ تا ۱۳ هرتز و امواج بتا بالای ۱۳ هرتز بود (سبحا و همکاران، ۲۰۱۰). هر دو گروه دوره آموزشی خود را به مدت پنج روز متوالی و هر روز ۶۰ دقیقه شروع کردند. هر آزمودنی در هر جلسه ۱۲۰ تیر پرتاب کرد که این تعداد در چهار ست با یک دقیقه استراحت بین ست‌ها انجام شد. روز ششم آزمون یادداری با ۱۵ پرتاب انجام شد و در انتها آزمون انتقال بعد از آزمون یادداری و در حضور تماشاگران و با هدف ایجاد رقابت و انگیزه بین آزمودنی‌ها با ۱۵ پرتاب به عمل آمد (قمری و همکاران، ۲۰۱۵). پروتکل تمرین برای یادگیری آشکار به این صورت بود که مربی الگوی اجرای مهارت را در ۵ روز به صورت مستقیم، دقیق و جزء‌به‌جزء که شامل طرز ایستادن، طرز گرفتن، طرز نگاه کردن، جهت حرکت دست و ... بود به هر داوطلب آموزش داد. پروتکل تمرین یادگیری پنهان نیز پنج روز متوالی و هر روز ۶۰ دقیقه بود و مربی برای داوطلبان هیچ آموزش مستقیمی نداشت و توضیحی درباره نحوه صحیح پرتاب دارت نداد و از آن‌ها خواست به هر صورتی که می‌توانند تمرین پرتاب دارت داشته باشند تا بهترین امتیاز را بدست آورند.

روش آماری

تحلیل آماری نتایج توسط نرم افزار متلب، اس. پی. اس. اس. نسخه ۲۶ و اکسل ۲۰۱۰ در سطح معناداری ۰/۰۵ و به روش تحلیل واریانس مرکب دو گروه (آشکار و پنهان) در سه مرحله (پیش‌آزمون، یادداری و انتقال) برای چهار موج مغزی دلتا، تتا، آلفا و بتا شدت محرک بر اساس تحریک (میکروولت) در پنج منطقه مغزی شامل DLPFC^۴، OFC^۵، CF^۶، Frontal، All Frontal انجام شد. منطقه DLPFC شامل میانگین مناطق (F3, F4) منطقه OFC شامل میانگین مناطق (FP1, FP2) منطقه CF شامل میانگین مناطق (F3, F4, C3, C4, FC3, FC4, FCz, Fz, Cz)، منطقه Frontal شامل میانگین مناطق (FP1, FP2, Fz) و منطقه All Frontal شامل (F3, F4, C3, C4, FC3, FC4, FCz, Fz, Cz) است (دانگ و لی، ۲۰۱۲).

¹. Iwatsuki & Regis

². Fang

³. Subha

⁴. Dorsal Lateral Prefrontal Cortex

⁵. Orbitofrontal Cortex

⁶. Central Frontal

یافته‌های پژوهش

در جدول ۱ اطلاعات مربوط به آمار توصیفی متغیرهای پژوهش شامل میانگین و انحراف معیار در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال دو گروه یادگیری آشکار و پنهان در پنج منطقه مغز DLPFC، OFC، CF، Frontal، All Frontal در موج آلفا، بتا، دلتا، تتا ارائه شده است.

جدول ۱. یافته‌های توصیفی دو گروه یادگیری آشکار و پنهان در موج آلفا، بتا، دلتا، تتا

گروه	نواحی	موج دلتا			موج تتا			موج آلفا			موج بتا	
		پیش‌آزمون	یادداری	انتقال	پیش‌آزمون	یادداری	انتقال	پیش‌آزمون	یادداری	انتقال	یادداری	انتقال
		M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd	M±sd
آشکار	DLPFC	۴/۳۳±۱۸/۵۸	۱۴۱±۳۳	۸±۲/۸۸	۱۰±۵۳/۱۸	۷±۹۲/۰۱	۱±۳/۷۸	۴/۲±۹۱/۹۳	۳±۴۶/۳۳	۴±۹/۲۶	۵/۲±۴۴/۰۰	۱۹±۳۷
	C	۸	۱۹۵/۰۹	۱۴/۴	۱۳	۱۴	۲/۹	۶	۲/۶	۲/۶	۹/۸۲	۹/۸۲
	OFC	۵/۵۸±۸۸/۰۳	۱۰۰±۹/۹	۲۳±۱۵	۱۸±۷۹/۳۰	۱۲±۷/۵۲	۳±۲/۸۳	۴/۱±۳۳/۵۴	۱۲±۱/۷۱	۴±۷/۳۶	۸/۴±۶۱/۷۳	۹±۳/۸۶
		۶	۱۱۲/۶۱	۳۱/۸۰	۲۰	۱۶/۴	۴/۵	۱۱/۱	۳/۵	۱۳	۱/۱±۹۹/۱۰	۸/۰
	CF	۴/۳۴±۶۴/۱۳	۶۷±۰/۰۰	۱۴±۳۱	۱۵±۹۲/۷۷	۱۶±۵/۵۹	۵±۳/۱۸	۹/۷±۷۰/۰۷	۸±۸۷/۶۳	۱±۹/۲۱	۱/۱۰±۶۲/۸۸	۵±۲/۳۵
پنهان	Frontal	۶/۵۸±۴۵/۴۰	۱۰۵±۵/۱	۲۵±۳۸	۲۲±۱۸/۶۶	۱۱±۵/۹۳	۴±۲/۴۷	۶/۳±۷۰/۴۱	۱۲±۳/۶۶	۴±۳/۶۶	۱۱/۷±۸۸/۴۵	۸±۶/۸۶
		۷	۱۴۲/۴۰	۳۵/۳۴	۲۷	۲۲/۱	۵/۳	۲۰/۱۰	۱۴/۳	۴/۳	۱۶	۱۲/۸
	All Frontal	۱/۱۶±۳۴/۸۸	۴۱۳±۶/۲	۵۴±۰/۴	۴۴±۵۶/۲۰	۸۰±۸/۱۹	۱۴±۳/۶	۱۰±۹۷/۰۷	۱۶±۷/۲۹	۱۲±۲/۱	۴/۲۴±۹۶/۷۸	۲۵±۳/۳۵
		۲۱۴	۶۸۷/۹۸	۹۹/۰۹	۶۸	۱۲۷/۴	۲۰/۱۰	۲۸	۳۳/۰	۱۶/۶۴	۴	۲۷/۳۱
	DLPFC	۲/۱۳±۷۹/۴۴	۵۷±۸/۳۱	۲۶±۱۱	۶/۳±۱۱/۵۸	۴±۵۷/۴۲	۲±۹/۴۰	۳/۲±۸۶/۴۹	۲±۸۱/۴۰	۲±۶/۳۰	۷/۳±۴۵/۲۴	۶±۲/۶۵
تتا	C	۰	۵۲/۳	۲۵/۱۱	۷	۴/۹	۴/۹	۳	۳/۷	۳/۷	۹/۶±۱۸/۰۷	۷/۲
	OFC	۲/۱۱±۸۹/۱۴	۲۹±۷/۰۵	۲۳±۶۴	۵/۲±۶۳/۹۲	۱۰±۱/۶۱	۲±۸/۳۷	۳/۲±۱۰/۱۹	۴±۱۰/۰۵	۱±۹/۸۰	۶/۶±۵۹/۰۶	۴±۴/۶۲
		۳	۵۰/۵	۳۲/۱۳	۱۰/۳	۱۰/۳	۴/۴	۵	۳/۲	۳/۲	۱/۶±۹۰/۵۳	۸/۵
	CF	۳/۱۶±۳۸/۳۲	۲۲±۴/۱۷	۲۱±۶۵	۱/۷±۳۹/۵۱	۴±۱۹/۳۹	۵±۸/۷۰	۹/۴±۳۸/۷۲	۴±۹۳/۶۷	۳±۳/۹۲	۱۳/۶±۱۷/۲۱	۹±۹/۴۴
	Frontal	۳/۱۲±۱۲/۴۶	۵۰±۴/۲۵	۲۷±۲۲	۸/۴±۵۶/۲۴	۱۱±۸/۵۱	۳±۲/۳۴	۵/۴±۸۴/۹۴	۱۶±۸۰/۷۱	۲±۰/۷۵	۹/۷±۱۸/۶۹	۴±۳/۲۲
All Frontal		۱	۷۱/۷	۳۷/۸۲	۱۲/۱	۷/۰	۷/۰	۷	۶/۵	۶/۵	۱	۱۰/۷
		۲۰	۱۵۴/۶	۱۲۲/۱۱	۴۳	۷۱/۰	۳۳/۰۱	۲۵	۴۲/۰	۲۲/۲	۴	۴۳/۰۲

آمار استنباطی در دو بخش به بررسی متغیرهای وابسته یعنی موج دلتا، تتا، آلفا و بتا پرداخته است. بخش اول بررسی اثر یادگیری آشکار و پنهان (عامل درون گروهی) افراد با کارکردهای اجرایی سرد بر تغییرات امواج دلتا، تتا، آلفا و بتای مغز را نشان می‌دهد و بخش دوم بررسی تفاوت دو گروه آشکار و پنهان (عامل بین گروهی) بر تغییرات امواج دلتا، تتا، آلفا و بتای مغز را شامل می‌شود.

بخش اول (تفاوت درون گروهی، مراحل یادگیری)

موج دلتا

برای بررسی اثر درون گروهی ابتدا تفاوت مراحل یادگیری (پیش‌آزمون، یادداری و انتقال) در گروه یادگیری آشکار و پنهان در پنج موج مغزی بررسی شد. نتایج تحلیل واریانس مرکب $3 \times 5 \times 2$ اثر عامل‌های درون آزمودنی را به این صورت نشان داد: اثر اصلی زمان (پیش‌آزمون، یادداری و انتقال) ($F_{(2,15)} = 10.91, p = 0.001$)، اثر اصلی گروه‌ها (گروه یادگیری آشکار و گروه یادگیری پنهان) ($F_{(1,15)} = 10.82, p = 0.005$)، اثر اصلی پنج ناحیه مغز (All Frontal، Frontal، CF، OFC، DLPFC) ($F_{(4,13)} = 14.47, p = 0.001$)، اثر تعاملی بین گروه و زمان ($F_{(2,15)} = 6.46, p = 0.009$)، اثر تعاملی نواحی مغز و زمان ($F_{(8,9)} = 3.61, p = 0.03$)، اثر تعاملی بین نواحی مغز و گروه ($p = 0.03$)،

$(F_{(۳,۱۳)}=۳/۵۰)$ و در آخر اثر تعامل سه عامل یعنی زمان، گروه و نواحی مغز ($p=۰/۱$, $F_{(۸,۹)}=۲/۳۸$). با توجه به معناداری اثر اصلی زمان (مراحل یادگیری) در ادامه به بررسی اثر دو به دو آن‌ها پرداخته شد.

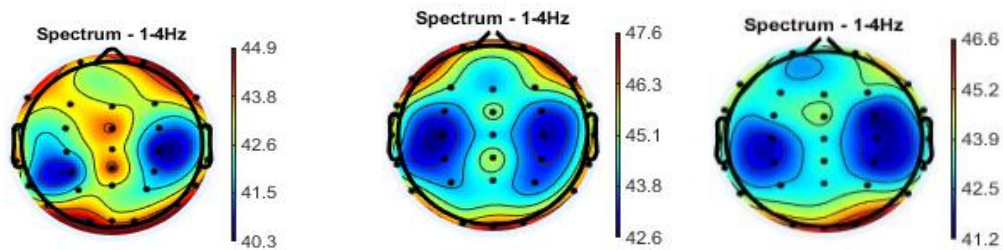
جدول ۲. مقایسه دوبره‌دوی گروه‌ها در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال نواحی مختلف مغز در موج دلتا

ناحیه مغز	زمان (i)	زمان (j)	یادگیری آشکار			یادگیری پنهان		
	پیش‌آزمون	انتقال	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	معناداری	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	معناداری
DLPFC	پیش‌آزمون	یادداری	۱۴۶/۹۱	۳۴/۵۰	*۰/۰۰۱	۳۲/۰۳	۳۰/۸۶	۰/۳۱
	پیش‌آزمون	انتقال	۳۳/۹۳	۱۱/۸۳	*۰/۰۰۱	۴/۳۱	۱۰/۵۸	۰/۶۸
	یادداری	انتقال	۱۸۰/۸۵	۳۳/۲۶	*۰/۰۰۱	۲۷/۷۱	۲۹/۷۶	۰/۳۶
OFC	پیش‌آزمون	یادداری	۵۵/۷۲	۲۷/۷۲	۰/۰۶	۲۶/۸۶	۲۴/۸۰	۰/۲۹
	پیش‌آزمون	انتقال	۲۵/۰۸	۱۹/۱۶	۰/۲۰	۸/۲۳	۱۷/۱۳	۰/۶۳
	یادداری	انتقال	۸۰/۸۰	۲۴/۰۶	*۰/۰۰۴	۱۸/۶۲	۲۱/۵۲	۰/۴۰
CF	پیش‌آزمون	یادداری	۵۶/۴۵	۱۲/۳۹	*۰/۰۰۱	۱۷/۰۵	۱۱/۰۸	۰/۱۴
	پیش‌آزمون	انتقال	۲۳/۰۷	۱۲/۸۳	۰/۰۹	۱۲/۸۱	۱۱/۴۷	۰/۲۸
	یادداری	انتقال	۷۹/۵۲	۱۹/۹۹	*۰/۰۰۱	۴/۲۳	۱۷/۸۸	۰/۸۱
Frontal	پیش‌آزمون	یادداری	۷۴/۹۵	۲۷/۲۱	*۰/۰۱	۴۰/۳۴	۲۴/۳۴	۰/۱۱
	پیش‌آزمون	انتقال	۳۳/۱۰	۲۰/۱۸	۰/۱۳	۶/۷۰	۱۸/۰۵	۰/۷۱
	یادداری	انتقال	۱۰۷/۰۶	۲۸/۳۰	*۰/۰۰۲	۳۳/۶۴	۲۵/۳۱	۰/۲۰
All Frontal	پیش‌آزمون	یادداری	۴۷۳/۶۳	۸۴/۶۳	*۰/۰۰۱	۳۴/۲۷	۷۵/۷۰	۰/۶۵
	پیش‌آزمون	انتقال	۱۱۵/۲۵	۵۴/۲۵	*۰/۰۵	۱/۶۱	۴۸/۵۲	۰/۹۷
	یادداری	انتقال	۵۸۸/۸۹	۱۰۱/۳۷	*۰/۰۰۱	۳۲/۶۵	۹۰/۶۶	۰/۷۳

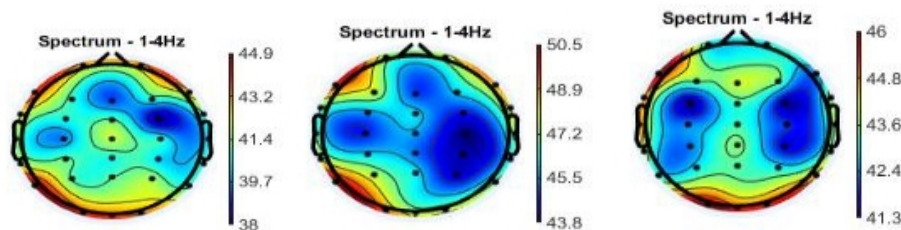
$P \leq 0/05$

بر همین اساس نتایج اثر تعاملی نشان داد که در گروه یادگیری آشکار در ناحیه DLPFC ($\text{توان} = ۰/۹۹$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۶۹$ ، $p = ۰/۰۰۱$)، در ناحیه OFC ($\text{توان} = ۰/۷۶$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۴۲$ ، $p = ۰/۰۰۱$)، در ناحیه CF ($\text{توان} = ۰/۹۵$)، در ناحیه Frontal ($\text{توان} = ۰/۸۴$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۴۷$ ، $p = ۰/۰۰۸$)، در ناحیه All Frontal ($\text{توان} = ۰/۹۹$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۶۸$ ، $p = ۰/۰۰۱$) تفاوت معناداری مشاهده شد. بر اساس مقادیر اثر اندازه می‌توان گفت که احتمالاً ۶۹٪ از تغییرات در ناحیه DLPFC، ۴۲٪ در ناحیه OFC، ۵۷٪ از تغییرات در ناحیه CF و ۴۷٪ در ناحیه Frontal، ۶۸٪ از تغییرات ناحیه All Frontal تحت تأثیر استفاده از روش یادگیری آشکار بود.

نتایج اثر تعاملی در گروه یادگیری پنهان نشان داد در ناحیه DLPFC ($\text{توان} = ۰/۱۱$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۰۶$ ، $p = ۰/۶۰$)، در ناحیه OFC ($\text{توان} = ۰/۱۲$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۰۶$ ، $p = ۰/۵۸$)، در ناحیه CF ($\text{توان} = ۰/۳۸$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۲۳$ ، $p = ۰/۱۳$)، در ناحیه Frontal ($\text{توان} = ۰/۲۳$ ، $\text{partial}\eta^2 = ۰/۱۴$ ، $p = ۰/۳۰$)، در ناحیه All Frontal ($\text{توان} = ۰/۰۶$) تفاوت معناداری مشاهده نشد. در واقع می‌توان گفت یادگیری پنهان تأثیری روی موج دلتا نداشت.



شکل ۱. نواحی مغز در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری پنهان موج دلتا



شکل ۲. نواحی مغز در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری آشکار موج دلتا

موج تتا

نتایج به‌دست آمده از تحلیل واریانس مرکب $3 \times 5 \times 2$ اثر عامل‌های درون آزمودنی را به این صورت نشان داد: اثر اصلی زمان (پیش‌آزمون، یادداری و انتقال) ($F_{(2,15)} = 10.82, p = 0.001$)، اثر اصلی گروه‌ها (گروه یادگیری آشکار و گروه یادگیری پنهان) ($F_{(1,6)} = 4.36, p = 0.05$)، اثر اصلی پنج ناحیه مغز (All Frontal, Frontal, CF, OFC, DLPFC) ($F_{(4,13)} = 31.62, p = 0.001$)، اثر تعاملی بین گروه و زمان ($F_{(2,15)} = 3.52, p = 0.05$)، اثر تعاملی نواحی مغز و زمان ($F_{(8,9)} = 3.81, p = 0.03$)، اثر تعاملی بین نواحی مغز و گروه ($p = 0.34$) و در آخر اثر تعامل سه عامل یعنی زمان، گروه و نواحی مغز ($F_{(8,9)} = 2.62, p = 0.08$). در ادامه به بررسی اثرات آن‌ها پرداخته شد.

جدول ۳. مقایسه دوبه‌دوی گروه‌ها در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال نواحی مختلف مغز در موج تتا

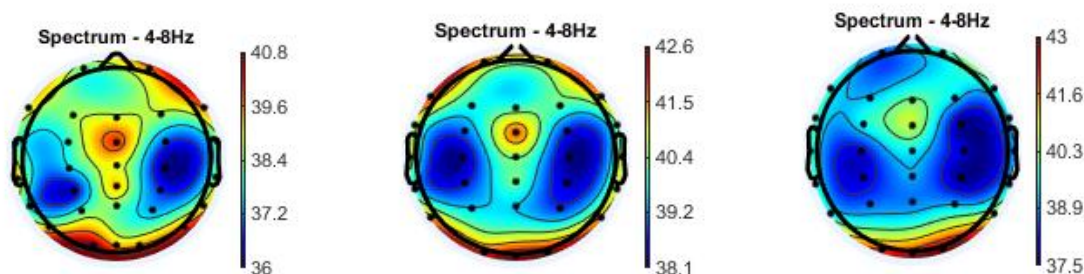
ناحیه مغز	زمان (i)	زمان (j)	یادگیری آشکار			یادگیری پنهان		
			تفاوت میانگین	خطای استاندارد	معناداری	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	معناداری
DLPFC	پیش‌آزمون	یادداری	۱/۳۹	۳/۰۷	۰/۶۵	۱/۴۶	۲/۷۴	۰/۶۰
	پیش‌آزمون	انتقال	۱۱/۱۳	۲/۹۰	*۰/۰۰۱	۱/۱۲	۲/۵۹	۰/۶۷
	یادداری	انتقال	۱۲/۵۳	۲/۲۶	*۰/۰۰۱	۲/۵۸	۲/۰۲	۰/۲۱
OFC	پیش‌آزمون	یادداری	۴/۰۵	۴/۱۹	۰/۳۵	۴/۴۹	۳/۷۴	۰/۲۴
	پیش‌آزمون	انتقال	۱۶/۵۴	۴/۷۵	*۰/۰۰۳	۰/۷۹	۴/۲۵	۰/۸۵
	یادداری	انتقال	۱۲/۴۹	۴/۱۳	*۰/۰۰۸	۵/۲۹	۳/۷۰	۰/۱۷
CF	پیش‌آزمون	یادداری	۱۱/۶۱	۴/۷۸	*۰/۰۰۲	۱/۱۹	۴/۲۸	۰/۷۸
	پیش‌آزمون	انتقال	۱۸/۵۲	۵/۰۴	*۰/۰۰۲	۳/۵۶	۴/۵۱	۰/۴۴
	یادداری	انتقال	۳۰/۱۴	۴/۴۲	*۰/۰۰۱	۲/۳۶	۳/۹۵	۰/۵۵
Frontal	پیش‌آزمون	یادداری	۴/۶۶	۴/۶۲	۰/۳۲	۴/۲۴	۴/۱۳	۰/۳۲
	پیش‌آزمون	انتقال	۲۱/۹۵	۵/۸۱	*۰/۰۰۲	۱/۳۵	۵/۲۰	۰/۷۹

یادداری	انتقال	۱۷/۲۸	۴/۶۰	*۰/۰۰۲	۵/۶۰	۴/۱۱	۰/۱۹
پیش آزمون	یادداری	۵۹/۲۸	۱۸/۲۱	*۰/۰۰۵	۲۸/۵۲	۱۶/۲۹	۰/۰۹
پیش آزمون	انتقال	۴۸/۴۵	۱۲/۹۰	*۰/۰۰۲	۱۰/۰۶	۱۱/۵۳	۰/۳۹
یادداری	انتقال	۱۰۷/۷۳	۲۴/۳۴	*۰/۰۰۱	۳۸/۵۸	۲۱/۸۰	۰/۰۹

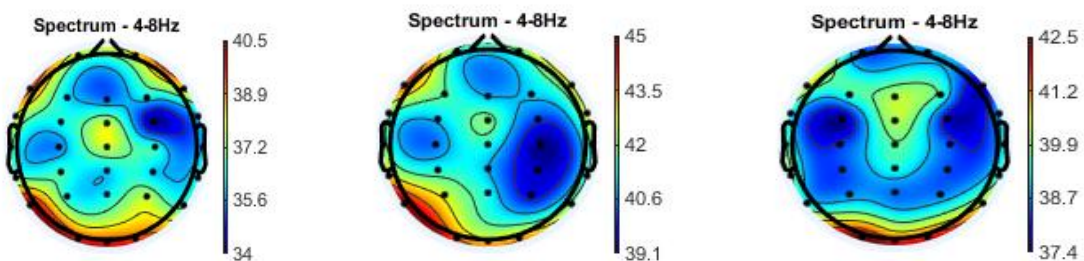
$P \leq 0/05$

بر همین اساس نتایج اثر تعاملی نشان داد که در گروه یادگیری آشکار در ناحیه DLPFC (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/69$ ، $(F_{(2,15)} = 6/43, p = 0/01, \text{partial}\eta^2 = 0/46$ ، در ناحیه OFC (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/83$ ، $(F_{(2,15)} = 16/71, p = 0/001$ ، در ناحیه CF (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/74$ ، $(F_{(2,15)} = 21/84, p = 0/001$ ، در ناحیه Frontal (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/52$ ، $(F_{(2,15)} = 8/15, p = 0/004$ ، در ناحیه All Frontal (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/95$ ، $(F_{(2,15)} = 9/63, p = 0/002$ تفاوت معناداری مشاهده شد. بر اساس مقادیر اثر اندازه می توان گفت که احتمالاً ۶۹٪ از تغییرات در ناحیه DLPFC، ۴۶٪ در ناحیه OFC، ۷۴٪ از تغییرات در ناحیه CF و ۵۲٪ در ناحیه Frontal، ۵۶٪ از تغییرات ناحیه All Frontal تحت تأثیر استفاده از روش یادگیری آشکار بود.

نتایج اثر تعاملی در گروه یادگیری پنهان نشان داد در ناحیه DLPFC (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/09$ ، $(F_{(2,15)} = 0/76, p = 0/48$ ، در ناحیه OFC (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/14$ ، $(F_{(2,15)} = 1/22, p = 0/32$ ، در ناحیه CF (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/04$ ، $(F_{(2,15)} = 0/22, p = 0/73$ ، در ناحیه Frontal (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/13$ ، $(F_{(2,15)} = 1/14, p = 0/34$ ، در ناحیه All Frontal (توان آزمون، $\text{partial}\eta^2 = 0/17$ ، $(F_{(2,15)} = 1/56, p = 0/24$ تفاوت معناداری مشاهده نشد. در واقع می توان گفت یادگیری پنهان تأثیری روی موج تتا نداشت.



شکل ۳. نواحی مغز در پیش آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری پنهان موج تتا



شکل ۴. نواحی مغز در پیش آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری آشکار موج تتا

موج آلفا

نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس مرکب $2 \times 5 \times 3$ اثر عامل‌های درون آزمودنی را به این صورت نشان داد: اثر اصلی زمان (پیش‌آزمون، یادداری و انتقال) ($F_{(2,15)} = 0.61$, $p = 0.55$)، اثر اصلی گروه‌ها (گروه یادگیری آشکار و گروه یادگیری پنهان) ($F_{(1,16)} = 0.18$, $p = 0.67$)، اثر اصلی پنج ناحیه مغز (All Frontal، Frontal، CF، OFC، DLPFC) ($F_{(4,13)} = 10.3/0.5$, $p = 0.001$)، اثر تعاملی بین گروه و زمان ($p = 0.05$)، $F_{(2,15)} = 3.59$, $p = 0.02$)، اثر تعاملی نواحی مغز و زمان ($F_{(8,9)} = 8.56$, $p = 0.002$)، اثر تعاملی بین نواحی مغز و گروه ($F_{(4,13)} = 1.17$, $p = 0.36$) و در آخر اثر تعامل سه عامل یعنی زمان، گروه و نواحی مغز ($F_{(8,9)} = 4.79$, $p = 0.01$) در ادامه با توجه به معناداری اثر تعامل زمان، گروه و نواحی مغز به بررسی اثرات آن‌ها پرداخته شد.

جدول ۴. مقایسه دوبه‌دوی گروه‌ها در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال نواحی مختلف مغز در موج آلفا

یادگیری آشکار		یادگیری پنهان					
ناحیه مغز	زمان (i)	زمان (j)	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	معناداری	تفاوت میانگین	خطای استاندارد
DLPFC	پیش‌آزمون	یادداری	۱/۵۴	۱/۱۰	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۹۸
	پیش‌آزمون	انتقال	۱/۹۵	۱/۲۸	۰/۱۴	۰/۱۹	۱/۱۰
	یادداری	انتقال	۳/۴۹	۱/۶۸	*۰/۰۵	۰/۱۷	۱/۵۱
OFC	پیش‌آزمون	یادداری	۶/۷۸	۳/۰۸	*۰/۰۴	۲/۰۰	۲/۷۵
	پیش‌آزمون	انتقال	۰/۵۸	۱/۱۶	۰/۶۲	۰/۸۲	۱/۰۲
	یادداری	انتقال	۷/۳۶	۲/۴۱	*۰/۰۰۸	۱/۱۸	۲/۱۵
CF	پیش‌آزمون	یادداری	۱۳/۱۶	۳/۲۰	*۰/۰۰۱	۲/۵۵	۲/۸۶
	پیش‌آزمون	انتقال	۶/۷۳	۲/۳۴	*۰/۰۱	۰/۹۹	۲/۰۹
	یادداری	انتقال	۱۹/۹۰	۲/۵۸	*۰/۰۰۱	۳/۵۵	۲/۳۱
Frontal	پیش‌آزمون	یادداری	۷/۶۲	۳/۷۲	*۰/۰۵	۱/۹۶	۳/۳۳
	پیش‌آزمون	انتقال	۲/۳۷	۲/۰۳	۰/۲۶	۰/۲۰	۱/۸۲
	یادداری	انتقال	۹/۹۹	۲/۷۵	*۰/۰۰۲	۱/۷۵	۲/۴۶
All Frontal	پیش‌آزمون	یادداری	۱۲/۳۳	۵/۰۴	*۰/۰۲	۲/۷۸	۴/۵۰
	پیش‌آزمون	انتقال	۴/۷۲	۷/۷۸	۰/۵۵	۱۶/۸۸	۶/۹۶
	یادداری	انتقال	۱۷/۰۵	۸/۵۰	۰/۰۶	۱۹/۶۷	۷/۶۰

P≤0/05

بر همین اساس نتایج اثر تعاملی نشان داد که در گروه یادگیری آشکار در ناحیه DLPFC ($\text{توان} = 0.35$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.21$ ، $\text{توان} = 0.16$ ، $F_{(2,15)} = 2.01$ ، $p = 0.16$ و ناحیه All Frontal ($\text{توان} = 0.54$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.31$ ، $p = 0.06$ ، $F_{(2,15)} = 3.32$ تفاوت معنادار مشاهده نشد، در ناحیه OFC ($\text{توان} = 0.82$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.45$ ، $p = 0.01$ ، $F_{(2,15)} = 6.29$ ، ناحیه CF ($\text{توان} = 1$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.79$ ، $p = 0.001$ ، $F_{(2,15)} = 29.10$ ، ناحیه Frontal ($\text{توان} = 0.90$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.51$ ، $p = 0.005$ ، $F_{(2,15)} = 7.88$ ، تفاوت معناداری مشاهده شد. بر اساس مقادیر اثر اندازه می‌توان گفت که احتمالاً ۲۱٪ از تغییرات در ناحیه DLPFC، ۴۵٪ در ناحیه OFC، ۷۹٪ از تغییرات در ناحیه CF و ۵۱٪ در ناحیه Frontal، تحت تأثیر استفاده از روش یادگیری آشکار بود.

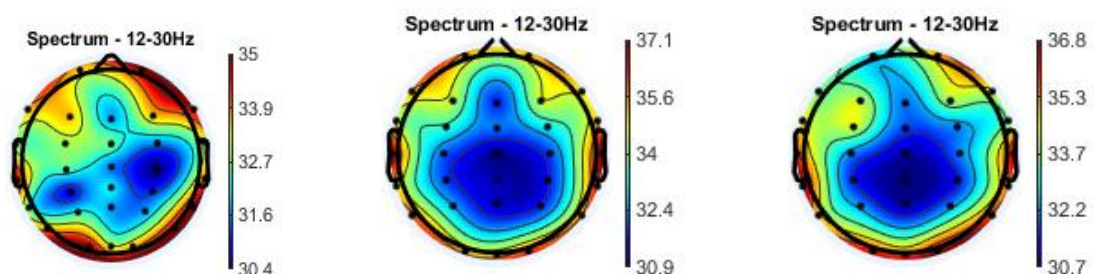
نتایج اثر تعاملی در گروه یادگیری پنهان نشان داد در ناحیه DLPFC ($\text{توان} = 0.05$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.02$ ، $p = 0.98$ ، $F_{(2,15)} = 0.01$ ، ناحیه OFC ($\text{توان} = 0.09$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.04$ ، $p = 0.72$ ، $F_{(2,15)} = 0.32$ ، ناحیه CF ($\text{توان} = 0.21$)، $\text{partial}\eta^2 = 0.13$ ، $p = 0.34$ ،

OFC	پیش آزمون	یادداری	۵/۳۸	۳/۹۱	۰/۱۸	۲/۵۹	۳/۴۹	۰/۴۷
	پیش آزمون	انتقال	۰/۳۰	۳/۰۰	۰/۹۲	۱/۸۵	۲/۶۹	۰/۵۰
	یادداری	انتقال	۵/۶۸	۲/۸۴	۰/۰۶	۰/۷۳	۲/۵۴	۰/۷۷
CF	پیش آزمون	یادداری	۱۵/۳۹	۵/۱۴	*۰/۰۰۹	۰/۲۷	۴/۶۰	۰/۹۵
	پیش آزمون	انتقال	۵/۳۷	۳/۱۳	۰/۱۰	۰/۷۹	۲/۷۹	۰/۷۸
	یادداری	انتقال	۲۰/۷۷	۳/۸۱	*۰/۰۰۱	۱/۰۶	۳/۴۰	۰/۷۵
Frontal	پیش آزمون	یادداری	۴/۳۴	۴/۶۲	۰/۳۶	۱/۹۹	۴/۱۳	۰/۶۳
	پیش آزمون	انتقال	۰/۷۹	۳/۱۵	۰/۸۰	۱/۱۸	۲/۸۱	۰/۶۷
	یادداری	انتقال	۳/۵۵	۲/۳۹	۰/۱۵	۰/۸۱	۲/۱۴	۰/۷۱
All Frontal	پیش آزمون	یادداری	۲۳/۴۴	۱۲/۱۳	۰/۰۷	۱۴/۳۰	۱۰/۸۵	۰/۲۰
	پیش آزمون	انتقال	۱۷/۶۵	۸/۴۵	*۰/۰۰۵	۸/۴۹	۷/۵۵	۰/۲۷
	یادداری	انتقال	۴۱/۰۹	۱۰/۲۸	*۰/۰۰۱	۵/۸۰	۹/۱۹	۰/۵۳

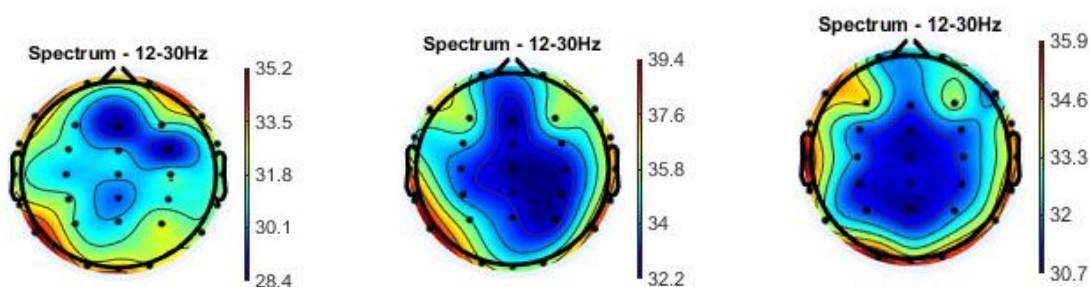
P≤0/05

بر همین اساس نتایج اثر تعاملی نشان داد که در گروه یادگیری آشکار در ناحیه DLPFC (توان آزمون، $\partial^2 = 0/20$ ، $F_{(2,15)} = 0/34$ ، $p = 0/18$)، ناحیه OFC (توان آزمون، $\partial^2 = 0/20$ ، $F_{(2,15)} = 1/88$ ، $p = 0/18$)، ناحیه Frontal (توان آزمون، $\partial^2 = 0/20$)، ناحیه CF (توان آزمون، $\partial^2 = 0/68$ ، $F_{(2,15)} = 1/07$ ، $p = 0/36$)، ناحیه All Frontal (توان آزمون، $\partial^2 = 0/12$ ، $F_{(2,15)} = 16/21$ ، $p = 0/001$) تفاوت معنادار مشاهده نشد. بر اساس مقادیر اثر اندازه می‌توان گفت که احتمالاً ۶۸٪ از تغییرات در ناحیه CF و ۵۲٪ از تغییرات ناحیه All Frontal تحت تأثیر استفاده از روش یادگیری آشکار بود.

نتایج اثر تعاملی در گروه یادگیری پنهان نشان داد در ناحیه DLPFC (توان آزمون، $\partial^2 = 0/08$ ، $F_{(2,15)} = 0/66$ ، $p = 0/53$)، ناحیه OFC (توان آزمون، $\partial^2 = 0/03$ ، $F_{(2,15)} = 0/28$ ، $p = 0/75$)، ناحیه CF (توان آزمون، $\partial^2 = 0/01$ ، $F_{(2,15)} = 0/91$ ، $p = 0/42$)، ناحیه Frontal (توان آزمون، $\partial^2 = 0/01$ ، $F_{(2,15)} = 0/10$ ، $p = 0/89$)، ناحیه All Frontal (توان آزمون، $\partial^2 = 0/10$ ، $F_{(2,15)} = 0/92$ ، $p = 0/42$) تفاوت معناداری مشاهده نشد. در واقع می‌توان گفت یادگیری پنهان تأثیری روی موج بتا نداشت.



شکل ۵. نواحی مغز در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری پنهان موج بتا



شکل ۶. نواحی مغز در پیش‌آزمون، یادداری و انتقال (به ترتیب از راست به چپ) گروه یادگیری آشکار موج بتا

بخش دوم (تفاوت بین گروهی)

در بخش دوم به بررسی تفاوت دو به دوی گروه آشکار و پنهان در مراحل یادداری و انتقال هر پنج ناحیه مغزی با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس مرکب ۲ (گروه یادگیری آشکار و پنهان) $2 \times$ (مرحله یادداری و انتقال) برای چهار موج مغزی دلتا، تتا، آلفا و بتا در پنج منطقه مغزی شامل ^۱DLPFC، ^۲OFC، ^۳CF، Frontal، All Frontal پرداخته شد.

موج دلتا

جدول ۶. تفاوت دوبه‌دوی گروه آشکار و پنهان در مراحل یادداری و انتقال موج دلتا

ناحیه مغز	مراحل	گروه (i)	گروه (j)	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
DLPFC	یادداری	آشکار	پنهان	۱۴۲/۲۶	۴۸/۸۰	*۰/۰۱
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱۰/۸۶	۹/۷۰	۰/۳۷
OFC	یادداری	آشکار	پنهان	۶۱/۸۵	۳۳/۳۳	۰/۰۸
	انتقال	آشکار	پنهان	-۰/۳۳	۱۱/۱۱	۰/۹۷
CF	یادداری	آشکار	پنهان	۵۶/۶۶	۲۲/۴۵	*۰/۰۲
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱۸/۶۳	۸/۹۰	*۰/۰۵
Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۷۰/۹۳	۳۷/۶۲	۰/۰۸
	انتقال	آشکار	پنهان	-۲/۴۸	۱۲/۵۴	۰/۸۴
All Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۵۳۳/۲۱	۱۳۱/۹۵	*۰/۰۰۱
	انتقال	آشکار	پنهان	-۲۳/۰۱	۲۶/۲۱	۰/۳۹

$P \leq 0/05$

در موج دلتا ناحیه DLPFC ($P=۰/۰۱$)، ناحیه CF ($P=۰/۰۲$) و All Frontal ($P=۰/۰۰۱$) در مرحله یادداری بین دو گروه آشکار و پنهان تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین دو گروه، گروه یادگیری آشکار مقادیر بیشتری نسبت به گروه پنهان داشتند.

^۱. Dorsal Lateral Prefrontal Cortex

^۲. Orbitofrontal Cortex

^۳. Central Frontal

موج تتا

جدول ۷. تفاوت دوبه‌دوی گروه آشکار و پنهان در مراحل یادداری و انتقال موج تتا

ناحیه مغز	مراحل	گروه (i)	گروه (j)	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
DLPFC	یادداری	آشکار	پنهان	۷/۳۴	۲/۷۰	*۰/۰۱
	انتقال	آشکار	پنهان	-۲/۵۹	۱/۰۲	*۰/۰۲
OFC	یادداری	آشکار	پنهان	۶/۶۱	۵/۴۵	۰/۳۴
	انتقال	آشکار	پنهان	-۰/۵۸	۱/۴۷	۰/۶۹
CF	یادداری	آشکار	پنهان	۱۹/۳۴	۵/۴۳	*۰/۰۰۳
	انتقال	آشکار	پنهان	-۸/۴۳	۲/۶۰	*۰/۰۰۵
Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۹/۷۰	۵/۵۴	۰/۰۹
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱/۹۷	۱/۸۴	۰/۳۹
All Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۵۶/۲۴	۳۰/۸۲	۰/۰۸
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱۲/۹۰	۵/۸۹	*۰/۰۴

P≤0/05

در موج تتا ناحیه DLPFC، در مرحله یادداری ($P=۰/۰۱$) و انتقال ($P=۰/۰۲$) بین دو گروه تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین، یادگیری آشکار مقادیر بیشتری داشته است. در ناحیه CF، در مرحله یادداری ($P=۰/۰۰۳$) و انتقال ($P=۰/۰۰۵$) بین گروه آشکار و پنهان تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین، یادگیری آشکار و در مرحله انتقال، یادگیری پنهان مقادیر بیشتری داشت. در ناحیه All Frontal در مرحله انتقال ($P=۰/۰۴$) بین گروه آشکار و پنهان تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین، یادگیری پنهان مقادیر بهتری داشته است.

موج آلفا

جدول ۸. تفاوت دوبه‌دوی گروه آشکار و پنهان در مراحل یادداری و انتقال موج آلفا

ناحیه مغز	مراحل	گروه (i)	گروه (j)	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
DLPFC	یادداری	آشکار	پنهان	۲/۶۵	۱/۳۵	۰/۰۶
	انتقال	آشکار	پنهان	-۰/۷۰	۱/۵۷	۰/۶۵
OFC	یادداری	آشکار	پنهان	۶/۰۱	۴/۲۴	۰/۱۷
	انتقال	آشکار	پنهان	-۰/۱۷	۱/۵۱	۰/۹۱
CF	یادداری	آشکار	پنهان	۱۰/۹۴	۳/۱۸	*۰/۰۰۳
	انتقال	آشکار	پنهان	-۵/۴۱	۱/۴۴	*۰/۰۰۲
Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۶/۵۲	۴/۶۳	۰/۱۷
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱/۷۱	۱/۷۶	۰/۳۴
All Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	-۶/۱۸	۴/۹۳	۰/۲۲
	انتقال	آشکار	پنهان	-۸/۷۹	۸/۷۸	۰/۳۳

P≤0/05

در موج آلفا ناحیه CF، در مرحله یادداری ($P=۰/۰۰۳$) و انتقال ($P=۰/۰۰۲$) بین گروه آشکار و پنهان تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین، در مرحله یادداری، یادگیری آشکار و در مرحله انتقال، یادگیری پنهان مقادیر بیشتری داشت.

موج بتا

جدول ۹. تفاوت دوبهدوی گروه آشکار و پنهان در مراحل یادداری و انتقال موج بتا

ناحیه مغز	مراحل	گروه (i)	گروه (j)	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
DLPFC	یادداری	آشکار	پنهان	۰/۱۲	۱/۴۷	۰/۹۳
	انتقال	آشکار	پنهان	۲/۵۹	۶/۵۲	۰/۶۹
OFC	یادداری	آشکار	پنهان	۴/۸۱	۴/۰۹	۰/۲۵
	انتقال	آشکار	پنهان	-۰/۱۴	۳/۵۰	۰/۹۶
CF	یادداری	آشکار	پنهان	۱۵/۱۱	۴/۳۶	*۰/۰۰۳
	انتقال	آشکار	پنهان	-۶/۷۱	۳/۷۵	۰/۰۹
Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۵/۰۵	۴/۲۲	۰/۲۴
	انتقال	آشکار	پنهان	۲/۳۰	۳/۱۶	۰/۴۷
All Frontal	یادداری	آشکار	پنهان	۱۹/۵۷	۱۰/۴۹	۰/۰۸
	انتقال	آشکار	پنهان	-۱۵/۷۱	۱۰/۴۶	۰/۱۵

P≤0/05

در موج بتا، ناحیه CF در مرحله یادداری ($P=۰/۰۰۳$) بین گروه آشکار و پنهان تفاوت معنادار وجود دارد و با توجه به اندازه میانگین، در مرحله یادداری، یادگیری آشکار مقادیر بیشتری داشت.

بحث و نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی مقایسه فعالیت‌های عصبی مناطق مختلف مغز براساس امواج مغزی دلتا، تتا، آلفا و بتا در یادگیری آشکار و پنهان یک مهارت حرکتی در دختران جوان با کارکردهای اجرایی سرد بود. نتایج نشان داد که در یادگیری آشکار، در ناحیه DLPFC بین پیش‌آزمون و یادداری، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج دلتا، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج تتا، یادداری و انتقال موج آلفا تفاوت معنادار وجود دارد.

در ناحیه OFC بین یادداری و انتقال موج دلتا، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج تتا، پیش‌آزمون و یادداری، یادداری و انتقال موج آلفا تفاوت معنادار وجود دارد.

در ناحیه CF بین پیش‌آزمون و یادداری، یادداری و انتقال موج دلتا، پیش‌آزمون و یادداری، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج تتا و آلفا، پیش‌آزمون و یادداری، یادداری و انتقال موج بتا تفاوت معنادار وجود دارد.

در ناحیه Frontal بین پیش‌آزمون و یادداری، یادداری و انتقال موج دلتا، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج تتا، پیش‌آزمون و یادداری، یادداری و انتقال موج آلفا تفاوت معنادار وجود دارد.

در ناحیه All Frontal بین پیش‌آزمون و یادداری، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج دلتا و تتا، پیش‌آزمون و یادداری موج آلفا، پیش‌آزمون و انتقال، پیش‌آزمون و انتقال، یادداری و انتقال موج بتا تفاوت معنادار وجود دارد.

نتایج این یافته با پژوهش‌های جونز و همکاران (۲۰۱۵)، نصیری و همکاران (۲۰۲۳)، دانگ و لی (۲۰۱۲)، لشم و همکاران (۲۰۲۰)، لونیس و همکاران (۲۰۱۷)، پون و همکاران (۲۰۱۸)، قاسمیان مقدم و همکاران (۲۰۱۶)، احمدی و همکاران (۲۰۰۹)، مرادی نور آبادی و همکاران (۲۰۲۳)، آروین و همکاران (۲۰۲۳) همسو و با پژوهش آنجلین و همکاران (۲۰۱۵) ناهمسو است. آنجلین و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی EEG با چگالی بالا پرداختند که ریزحالت‌های مغزی و منابع مرتبط با آن‌ها را که در طول دو نوع یادگیری آشکار و پنهان استخراج شده‌اند، ارزیابی کنند. نتایج نشان داد که یک شبکه مهارتی احتمالی (شامل ناحیه پیش حرکتی و شکنج فرونتال تحتانی راست) تا حدی با موارد فعال شده برای مهار یک عمل در شرایط یادگیری پنهان همپوشانی دارد. شواهد نشان داد مکانیسم‌های متفاوتی در حین یادگیری آشکار و پنهان وجود دارد که در لایه‌های عصبی و فرایند یادگیری افراد تاثیر می‌گذارد و این تغییرات تحت تاثیر یادگیری پنهان اتفاق می‌افتد. به نظر می‌رسد استفاده از آزمودنی‌های بزرگسال در تحقیق آن‌ها و استفاده از کودکان در تحقیق حاضر دلیل عدم همسویی این تحقیق با پژوهش حاضر باشد. جونز و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود تاثیرات کارکردهای اجرایی سرد بر یادگیری حرکتی را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که مهارت‌های کارکردهای اجرایی سرد باعث افزایش توجه، تقویت حافظه، پیروی از قوانین و سازگاری افراد می‌شود. در تحقیق دیگری که نصیری و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم الکتریکی در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین دستی کودکان دارای اختلال در شرایط یادگیری آشکار و پنهان پرداختند، نتایج نشان داد که تحریکات باعث بهبود یادگیری در شرایط پنهان و آشکار می‌گردد. همچنین در تحقیق دانگ و لی (۲۰۱۲) که به بررسی شبکه‌های مغزی در یادگیری پنهان و آشکار پرداختند، نتایج نشان داد که هر دو فرایند شامل فعال‌سازی در مجموعه‌ای از ساختارهای قشری و زیر قشری هستند. یادگیرندگان آشکار شبکه‌ای را درگیر می‌کنند که از اینسولا به‌عنوان میانجی کلیدی استفاده می‌کند، درحالی‌که یادگیرندگان پنهان یک شبکه مستقیم فرونتال - مخطط را برمی‌انگیزند. همچنین در تحقیقی که لشم و همکاران (۲۰۲۰) با عنوان پیامدهای بازدارندگی حرکتی و شناختی برای کارکردهای اجرایی سرد و گرم: آموزش حرکتی کوادراتو انجام دادند، نتایج یک تقسیم‌بندی پیشنهادی برای کارکردهای عمدتاً سرد و گرم ارائه کرد و QMT یک الگوی آموزش حسی - حرکتی را به عنوان وسیله‌ای برای افزایش رشد سالم معرفی کردند. در تحقیق دیگری که لونیس و همکاران (۲۰۱۷) با عنوان یک متاآنالیز، همبستگی‌های عصبی مختلف را برای یادگیری پنهان و آشکار انجام دادند و نتایج نشان داد که یادگیری آشکار در مقابل یادگیری پنهان مکانیسم‌های عصبی مختلفی را درگیر می‌کند که بر الگوهای مختلف متکی است. همچنین در تحقیق پون و همکاران (۲۰۱۸) که با عنوان کارکردهای اجرایی گرم و سرد در نوجوانی: توسعه و مشارکت در نتایج مهم رشد انجام دادند و نتایج نشان داد کارکرد سرد و گرم الگوهای متفاوتی از رشد وابسته به سن را در نوجوانی نشان می‌دهد. به طور خاص، کارکرد اجرایی سرد با افزایش سن بالا رفت، در حالی که کارکرد اجرایی گرم یک توسعه زنگوله مانند را نشان داد. در تحقیق فرزادی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی ویژگی‌های کارکردهای اجرایی برای تشخیص اختلال و تأخیر در یادگیری انجام دادند و نتایج نشان داد که قیاس کارکرد اجرایی، عملکرد توجه و یادگیری ابزاری قابل اعتماد و معتبر برای کاربرد در پژوهش‌های آزمایشی، و حتی محیط کلینیکی برای تشخیص افرادی است که با نقص یا تأخیر در کارکردهای اجرایی و مشکلات یادگیری روبرو هستند. در تحقیق دیگری که قاسمیان مقدم و همکاران (۲۰۱۶) انجام دادند، نتایج نشان داد روش‌های نوروفیدبک کاهش آلفا و افزایش تتا با هدف بهبود یادگیری تکالیف حرکتی مانند تکلیف تعقیبی استفاده می‌شوند. این روش‌ها بر اساس تنظیم امواج مغزی و تغییر فرکانس آن‌ها عمل می‌کنند. نتیجه این مطالعات نشان می‌دهد که افزایش تتا و کاهش آلفا می‌تواند به بهبود یادگیری در تکالیف تعقیبی کمک کند، زیرا این تغییرات باعث افزایش تمرکز و دسترسی به فرآیندهای شناختی ناخودآگاه می‌شوند. این روش برای یادگیری مهارت‌های حرکتی دقیق و تقویت عملکرد در فعالیت‌های مشابه مفید است. همچنین در تحقیق احمدی و همکاران (۲۰۰۹) این مقاله به بررسی تأثیر امواج مغزی بر اختلال استرس پس از سانحه (PTSD) پرداخته است.

نتایج نشان داد که در این بیماران فعالیت امواج آلفا و بتا در ناحیه پس سری کاهش یافته است، در حالی که فعالیت امواج دلتا در مناطق پیشانی، مرکزی و پس سری افزایش یافته‌اند. این یافته‌ها نشان داد تغییرات در فعالیت امواج مغزی می‌تواند شاخص مهمی برای شناسایی و درمان این اختلال باشد. در تحقیق **مرادی نورآبادی (۲۰۲۳)** نتایج نشان داد که دستورالعمل‌های توجهی باعث تغییرات در الگوهای امواج مغزی، به ویژه افزایش فعالیت امواج آلفا و بتا، می‌شوند. این تغییرات نشان‌دهنده بهبود تمرکز و پردازش اطلاعات در طی یادگیری حرکتی است. افزایش امواج آلفا به وضعیت‌های آرامش و تمرکز عمیق اشاره دارد، در حالی که امواج بتا با فعالیت‌های شناختی و تمرکز مرتبط هستند. به طور کلی، این تحقیق تأیید می‌کند که دستورالعمل‌های توجهی می‌توانند تأثیرات مثبتی بر عملکرد مغز و یادگیری مهارت‌های حرکتی داشته باشند. در نهایت در تحقیق **آروین و همکاران (۲۰۲۳)** کارکردهای اجرایی سرد مربوط به فرآیندهای شناختی غیرعاطفی مانند برنامه‌ریزی، حل مسئله و توجه هستند و در این مطالعه، در ورزشکارانی که مهارت‌های بسته (مانند ژیمناستیک) را انجام می‌دهند، بهتر بوده است. کارکردهای اجرایی گرم که با پردازش‌های عاطفی و تصمیم‌گیری در شرایط فشار و استرس مرتبط هستند، در ورزشکارانی که در مهارت‌های باز (مانند فوتبال) فعالیت دارند، قوی‌تر بوده است. این پژوهش نشان داد که نوع مهارت (باز یا بسته) بر کارکردهای اجرایی مغز تأثیر می‌گذارد و هر گروه از ورزشکاران، در کارکردهای متفاوت اجرایی (گرم یا سرد) عملکرد بهتری دارند.

یادگیری پنهان و آشکار از نظر عملکردی و مناطق درگیر در مغز مجزا از یکدیگر هستند. در یادگیری حرکتی پنهان می‌توان از دستورالعمل‌ها و انواع مختلفی از بازخورد استفاده کرد. اما در یادگیری آشکار فرد دانش اخباری مربوط به مهارت در حال یادگیری را جمع‌آوری کرده و بر اساس آن مهارت را آموخته و اجرا می‌کند (**ویلینگام، ۱۹۹۶**). عمدتاً کارکردها هم در مناطق پیش‌پیشانی مغز با اتصالات عصبی متعدد در ارتباط با سایر قشر مغز و ساقه مغز واقع شده‌اند. مطالعات عصبی جایگاه کارکردهای اجرایی را تأیید کردند. **والیس و کنرلی (۲۰۱۱)** در مطالعه‌ای^۱ نشان دادند ACC^۲ پشتی با کارکردهای اجرایی سرد مرتبط است. جدیدترین گزارش‌ها از نقش ACC^۲ پشتی در تصمیم‌گیری‌ها و عملکردهای کنترل شناختی حکایت دارد (**شنه‌او^۳ و همکاران، ۲۰۱۶**). بر اساس این تئوری، ACC^۲ پشتی نقش مرکزی در فرایند کارکردهای سرد دارد. همچنین در مطالعات و تصویربرداری‌های عصبی نشان داده شد که PFC^۴ جانبی، از جمله منطقه DLPFC^۴ و VLPFC^۵ همراه با ACC^۲ پشتی عمدتاً مربوط به کارکردهای اجرایی سرد هستند و می‌توانند به عنوان جریان سرد در نظر گرفته شوند (**صالحی نژاد و همکاران، ۲۰۲۱**). اتصال بین PFC^۴ جانبی و ACC^۲ و هم فعال شدن آن‌ها در طول وظایف کنترل شناختی، از این پیوند عملکردی پشتیبانی می‌کند (**تیک و همکاران، ۲۰۱۷**). بنابراین کارکردهای اجرایی به عنوان مهارت‌های ضروری برای سلامت روانی و جسمانی افراد محسوب می‌شوند. با توجه به پیچیدگی و درهم تنیدگی آناتومی مغز، تحلیل و شناخت اجزاء کارکردهای اجرایی از طریق کنشگران و دانشوران علمی همچنان در حال بررسی است زیرا با آگاهی به این ساختارها و فهم چگونگی ارتقاء آن می‌توان به بهبود فعالیت‌های مغز یاری رساند. افزون بر این، با وجود افزایش مطالعات انجام شده در قلمرو علوم شناختی، مطالعات کمی در زمینه کارکردهای اجرایی مغز انجام شده است.

همچنین مهارت‌های حرکتی را می‌توان با توجه به تأثیرات محیط بر آن‌ها، به مهارت‌های باز و بسته تقسیم کرد. مهارت‌های باز در محیطی پویا و متغیر انجام می‌شود، در حالی که مهارت‌های بسته در یک محیط قابل پیش‌بینی و استاتیک اتفاق می‌افتد. بر این اساس، حالت‌های تمرین را می‌توان به مهارت باز و بسته طبقه‌بندی کرد (**تی سائی^۶ و همکاران، ۲۰۱۷**). مهارت‌های باز نظیر تنیس روی میز، تنیس، اسکواش، بسکتبال، یا بوکس شامل محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی، تصمیم‌گیری فعال و سازگاری مداوم است که شرکت‌کنندگان باید

1. Wallis and Kennerley

2. Anterior Cingulate Cortex

3. Shenhav

4. Dorsolateral prefrontal Cortex

5. Ventrolateral prefrontal Cortex

6. Tsai

پاسخ‌ها را نسبت به محرک خارجی که به صورت تصادفی اتفاق می‌افتد، تغییر دهند (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در مقابل، مهارت‌های بسته نظیر دویدن، شنا، دوچرخه سواری، گلف یا تیراندازی با کمان، دارت در محیط نسبتاً پایدار و قابل پیش‌بینی انجام می‌شود و می‌توان آن‌ها را از قبل برنامه‌ریزی کرد. در این تحقیق شرکت‌کنندگان در یادگیری آشکار تمرین مهارت بسته دارت، عملکرد بهتری در کارکردهای اجرایی سرد داشتند. اصولاً در ورزش‌های با مهارت بسته ورزشکاران براساس گیرنده‌ها و احساس‌های درونی خود عمل می‌کنند و توجه کمتری به محیط پیرامون دارند زیرا محیط پیرامون نسبتاً ثابت است. در مقابل، ورزشکاران شرکت‌کننده در مهارت‌های باز به طور گسترده‌ای به محیط پیرامون و گیرنده‌های خارجی توجه می‌کنند زیرا در این نوع ورزش‌ها محیط لحظه به لحظه تغییر می‌کند و اطلاعات توسط گیرنده‌های خارجی به دست می‌آیند (جلیوند و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اثرات بهتر یادگیری آشکار در کارکردهای اجرایی سرد در مهارت دارت، استفاده بیشتر از این فعالیت‌های حرکتی برای کودکان پیشنهاد می‌شود.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به بسیاری از عوامل، مانند میزان استراحت آزمودنی‌ها در طول روز، عوامل روانی مانند استرس و اضطراب طی انجام آزمون‌ها، اثرات ژنتیکی و اصل تفاوت‌های فردی در تأثیرپذیری از تمرین در بین آزمودنی‌ها اشاره نمود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تاثیر روش‌های مختلف آموزش، بر مناطق مختلف مغز بررسی شود. در این تحقیق از مهارت دارت که یک مهارت مجرد است، استفاده گردید، می‌توان پژوهشی بر روی مهارت‌های زنجیره‌ای انجام داد و همچنین تفاوت دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت، در هر دو روش یادگیری آشکار و پنهان در مهارت‌های مختلف ورزشی مورد بررسی قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده با نمونه بزرگی از افراد عادی و یا دارای اختلال خاص بررسی شود. همچنین تحقیقات آتی می‌تواند با دانشجویان و یک حوزه وسیع‌تر، اجرا گردد. همچنین استفاده از این مقیاس توسط معلمان نیز می‌تواند شکاف‌های مهمی در بحث تأخیر تحصیلی و یادگیری به علت نقص مهارت و کارکرد اجرایی را مشخص کند. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که یادگیری آشکار بر کارکردهای اجرایی سرد دانش آموزان تاثیر معنادار دارد. بنابراین افرادی که مهارت‌های کارکردهای اجرایی را در خود افزایش داده‌اند مغزی فعال‌تر و توانمندتر خواهند داشت؛ در نتیجه با استفاده بهینه از این مهارت‌ها، توجه، تمرکز و درک خود را از مطالب افزایش داده، اهداف یادگیری‌شان را مشخص کرده، تکالیف را بهتر انجام داده و یادگیری بهتری را تجربه می‌کنند. در این صورت، ضمن رضایت از یادگیری، علاقمندی به یادگیری در آن‌ها افزایش یافته، از آن لذت خواهند برد. همچنین احساس بهتری از خود و توانمندی‌های خود داشته، خود را کارآمد می‌دانند، موفقیت را تجربه می‌کنند و امیدوارترند؛ در نتیجه درس، معلم، فضای کلاس و به طور کلی محیط مدرسه را دوست خواهند داشت.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که ما را در اجرای پژوهش همراهی کرده‌اند، سپاسگزاریم.

References

Ahmadi, P. Bakhshipour Roudsari, A. Vahedi, H. (2009). Studying the symmetry of brain waves in electroencephalography of patients with PTSD. *Daneshvar Pezkezi*, 16(83), 21-26. (In Persian)

¹. Wang

- Arvin, M. S., Meshkati, Z., & Badami, R. (2023). Comparison of hot and cold executive functions of the brain in adolescent athletes with similar cognitive demands in open and closed skills: A quasi-experimental study. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*, 19(1). <https://doi.org/10.48305/JRRS.2024.42338.1077> (In Persian)
- Angelini, M., Calbi, M., Ferrari, A., Sbriscia-Fioretti, B., Franca, M., Gallese, V., & Umiltà, M. A. (2015). Motor inhibition during overt and covert actions: an electrical neuroimaging study. *PloS one*, 10(5), e0126800. doi: 10.1371/journal.pone. . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126800>
- Buszard T, Reid M, Krause L, Kovalchik S, Farrow D. (2017). Quantifying contextual interference and its effect on skill transfer in skilled youth tennis players. *Frontiers in Psychology*. 3: 1931-8. doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01931
- Chan, T., Wang, I., & Ybarra, O. (2021). Leading and managing the workplace: The role of executive functions. *Academy of Management Perspectives*, 35(1), 142-164. . <https://doi.org/10.5465/amp.2017.0215>
- Dong, S. Y., & Lee, S. Y. (2011). Understanding human implicit intention based on frontal electroencephalography (EEG). In *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1-5). IEEE. . <https://doi.org/10.3389/conf.fninf.2011.08.00082>
- Engelhardt, L. E., Harden, K. P., Tucker -Drob, E. M., & Church, J. A. (2019). The neural architecture of executive functions is established by middle childhood. *Neuroimage*, 185, 479 –489. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.024>
- Fang, Q., Fang, C., Li, L., & Song, Y. (2022). Impact of sport training on adaptations in neural functioning and behavioral performance: A scoping review with meta-analysis on EEG research. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 20(3), 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.04.001>
- Farzadi F, Behrozy N, Shehniyailagh M, Omidian M. (2020). Investigating the psychometric characteristics of a nw scale of executive function of delays and disturbances in executive functioning and learning: Scale of executive functions, attention and learning performance. *Journal of Psychological Science*. 19(96), 1607-1624. (In Persian).
- Ghamari, A. , Mohamadi, J. & Mohamadi, M. (2015). The effect of errorless and errorfull practice on learning and transfer of dart throwing skill in adolescents with intellectual disabilities. *Motor Behavior*, 7(21), 111-126. (In Persian)
- Ghasemian, M., Taheri, H., Kakhki, A. S., & Ghoshuni, M. (2016). Effects of alpha suppression and theta enhancement neurofeedback protocols on learning a pursuit tracking task. *Journal of Psychophysiology*, 53(7), 965-73. <https://doi.org/10.22089/spsyj.2017.2808.1292> (In Persian)
- Iwatsuki, T., & Regis, C. J. (2021). Relatively easy criteria for success enhances motor learning by altering perceived competence. *Perceptual and Motor Skills*, 128(2), 900-911. <https://doi.org/10.1177/0031512520981237>
- Jones, D. E., Greenberg, M., & Crowley, M. (2015). Early Social-Emotional Functioning and Public Health: The Relationship Between Kindergarten Social Competence and Future Wellness. *American Journal of Public Health*, 105(11), 2283–2290. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302630>

- Jalilvand, M. and Souri, R. (2019). Comparison the effect of open and closed skills training on executive functions of children with Attention Deficit / Hyperactivity Disorder. *Journal of motor and behavioral sciences*, 2(4), 338-348.
- Khalilpour, Z. Aghdasi, MT. Zamani Sani, SH. (2023). The effect of cognitive styles on the level of explicit and implicit learning of motor-cognitive skills of student athletes. *Mind, Movement and Behavior*, 2(1), 85-99. <https://doi.org/10.22034/mmbj.2023.55947.1032> (In Persian)
- Leshem, R., De Fano, A., & Ben-Soussan, T. D. (2020). The implications of motor and cognitive inhibition for hot and cool executive functions: The case of quadrato motor training. *Frontiers in Psychology*, 11, 940. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00940>
- Lin, B., Liew, J., & Perez, M. (2019). Quarterly measurement of self-regulation in early childhood: Relations between laboratory and performance-based measures of effortful control and executive functioning. *Early Childhood Research Quarterly*, 47, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.10.004>
- Loonis, R. F., Brincat, S. L., Antzoulatos, E. G., & Miller, E. K. (2017). A meta-analysis suggests different neural correlates for implicit and explicit learning. *Neuron*, 96(2), 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.09.032>
- Mohammadi, H., Tahmasebi Boroujeni, S., & Fazel Kalkhoran, J. (2016). The Effect of Contextual Interference on Static and Dynamic Balance in Mentally Retarded People. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 8(1), 141-158. . <https://doi.org/10.22059/jmlm.2016.58499> (In Persian)
- Moradi, H., Sohrabi, M., & Taheri, H. (2014). The effect of background color on the acquisition and memorization of dart throwing skills. *Research in sports management and movement behavior*, 11(22), 69-78. <https://doi.org/10.22080/JSMB.2015.991>(In Persian)
- Noorabadi, M. M., Nezhad, M. M., Bahram, A., Noghabi, M. J., & Ghoshuni, M. (2023). Effect of Attention Instructions on Kinesthesia of Memory and Brain Waves. *Journal of Sport Psychology* (2676-3729), 15(1). <https://doi.org/10.48308/MBSP.2022.224010.1059> (In Persian)
- Nazari Kakvandi S, Saberi Kakhki A. R, Taheri H, Rohbanfard H. (2021). The Effect of Selected Practice Arrangement on the Learning of the Relative Timing of a Motor Task: Emphasis on Implicit and Explicit Approaches. *Motor Behavior*. 13 (45): 61-90. <https://doi.org/10.22089/mbj.2018.5641.1655>
(In Persian)
- Nemati, Sh, & Bardel, M. (2018). Cold and hot executive functions in people with attention-deficit/hyperactivity disorder: a systematic review. *Quarterly Journal of Applied Psychological Research*, 10(4), 201-216. <https://doi.org/10.22059/japr.2019.284496.643308>(In Persian)
- Nasiri S, Shahbazi M, Tahmasebi Broujeni S, Saeidmanesh M. (2023). Investigating the Effect of Transcranial Direct-Current Stimulation in the Primary Motor Cortex on the Speed of Hand Preference Transfer in Children with Learning Disability in Overt and Covert Learning Conditions. *MEJDS*, 13 ,102(In Persian)
- Poon, K. (2018). Hot and cool executive functions in adolescence: Development and contributions to important developmental outcomes. *Frontiers in psychology*, 8, 2311. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02311>

- [Salehinejad, M. A., Ghanavati, E., Rashid, M. H. A., & Nitsche, M. A. \(2021\). Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. *Brain and neuroscience advances*, 5, 23982128211007769. <https://doi.org/10.1177/23982128211007769>](#)
- [Shenhav, A., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. \(2016\). Dorsal anterior cingulate cortex and the value of control. *Nature neuroscience*, 19\(10\), 1286-1291. <https://doi.org/10.1038/nn.4384>](#)
- [Subha, D. P., Joseph, P. K., Acharya U. R., & Lim, C. M. \(2010\). EEG signal analysis: a survey. *Journal of medical systems*, 34\(2\), 195-212. <https://doi.org/10.1007/s10916-008-9231-z>](#)
- [Tik, M., Hoffmann, A., Sladky, R., Tomova, L., Hummer, A., de Lara, L. N., ... & Windischberger, C. \(2017\). Towards understanding rTMS mechanism of action: stimulation of the DLPFC causes network-specific increase in functional connectivity. *Neuroimage*, 162, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.022>](#)
- [Tsai, C. L., Pan, C. Y., Chen, F. C., & Tseng, Y. T. \(2017\). Open-and closed-skill exercise interventions produce different neurocognitive effects on executive functions in the elderly: a 6-month randomized, controlled trial. *Frontiers in aging neuroscience*, 9, 294. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00294>](#)
- [Vazou, S., Klesel, B., Lakes, K. D., & Smiley, A. \(2020 \). Rhythmic physical activity intervention: exploring feasibility and effectiveness in improving motor and executive function skills in children. *Frontiers in Psychology*, 11, 556249. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.556249>](#)
- [Wallis, J. D., & Kennerley, S. W. \(2011\). Contrasting reward signals in the orbitofrontal cortex and anterior cingulate cortex. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1239\(1\), 33-42. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06277.x>](#)
- [Willingham, D. B., & Goedert-Eschmann, K. \(1999\). The relation between implicit and explicit learning: Evidence for parallel development. *Psychological Science*, 10\(6\), 531-534. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00201>](#)
- [Wang, C. H., Chang, C. C., Liang, Y. M., Shih, C. M., Chiu, W. S., Tseng, P., ... & Juan, C. H. \(2013\). Open vs. closed skill sports and the modulation of inhibitory control. *PloS one*, 8\(2\), e55773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055773>](#)