Quarterly Journal of
Child Mental Health Vol. 10, No. 3, Fall 2023

Research Paper

# Meta-analysis of the Effectiveness of Transcranial Electrical Stimulation Interventions on Executive Function and Mathematical Performance in children with Specific Learning Disorder

**Saeed Mohammadi Molod[1], Shahram Vahedi*[2], Soomaayeh Heysieattalab[3], Mojtaba Soltanlou[4, 5]**

1. Ph.D. Student in Educational Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Iran
2. Professor, Department of Educational Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Iran
4. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Psychology, University of Surrey, UK
5. Assistant Professor, Department of Child Psychology, University of Johannesburg, South Africa

**Citation:** Mohammadi Molod S, Vahedi SH, Heysieattalab S, Soltanlou M. Meta-analysis of the effectiveness of transcranial electrical stimulation interventions on executive function and mathematical performance in children with specific learning disorder. J Child Ment Health. 2023; 10 (3):78-99.

URL: http://childmentalhealth.ir/article-1-1375-en.html

10.61186/jcmh.10.3.7
20.1001.1.24233552.1402.10.3.3.0

ARTICLEINFO

**Keywords:**
Learning disorder, executive functions, transcranial electrical stimulation, meta-analysis, meta-regression

Received: 2 Sep 2023
Accepted: 10 Nov 2023
Available: 21 Dec 2023

ABSTRACT

**Background and Purpose:** Learning disorder is a neurodevelopmental disorder that leads to difficulties in learning and performance of reading, writing, and mathematics. Transcranial electrical stimulation is one of the recent interventions that has been used in this group. The current paper aimed to systematically combine the findings of the existing studies to find the effectiveness of these brain stimulation interventions in improving the executive functions and mathematical performance of individuals with learning disorders, as well as the possible moderating variables using the meta-analysis method.

**Method:** The statistical population of the research was all published studies including scientific articles and theses. The systematic literature turned 21 studies in the meta-analysis, and 64 effect size Cohen's *d*s were extracted and analyzed using CMA3 software.

**Results:** The findings showed a significant moderate combined effect size in both fixed and random effects models. Moreover, the effect size of the transcranial random noise stimulation was shown to be larger than the transcranial direct-current stimulation and transcranial alternating current stimulation. In addition, the meta-regression showed that age is a significant predictor and moderator with a better effectiveness in younger individuals.

**Conclusion:** These findings reveal that transcranial electrical stimulation, especially random noise method, as one of the effective interventions in improving the executive functions and mathematical performance of children with learning disorder.

* **Corresponding author:** Shahram Vahedi, Professor, Department of Educational Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Iran
E-mail: Vahedi117@yahoo.com
Tel: (+98) 413392090

2476-5740/ © 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

# Extended Abstract

## Introduction

Specific learning disorder is a neurodevelopmental disorder with a biological origin that results in cognitive impairments and associated behavioral symptoms. These disorders cause persistent difficulties in learning reading, writing, and mathematics skills (2). Learning disorders are diagnosed with children's poor performance in one or more than one of these skills in standard tests, which is not consistent with their age and intelligence level (3). The etiology of this disorder has been attributed to various factors, but the similarities in behavioral and learning difficulties between these individuals and those with brain injuries (4), as well as the findings from electroencephalography studies, have confirmed brain irregularities in individuals with learning disorder (5). Therefore, brain-based interventions that could modulate these abnormal brain functions might be effective in improving the condition of individuals suffering from this disorder. Transcranial electrical stimulation (tES) is recognized as a novel neuroscientific intervention utilized in this field. Its effectiveness has been extensively examined in numerous studies (44-46, 48, 56, 60-63, 70, 73).

However, these studies, which have been conducted using different methods and protocols across various age ranges, have reported diverse and, in some cases, conflicting results. Therefore, the aim of the present systematic review and meta-analysis was to reach a general conclusion about the effectiveness of transcranial electrical stimulation methods by using the meta-analysis method and performing secondary analysis to discover the possible moderator variables and related effect sizes.

## Method

The present study was done using meta-analysis method. In meta-analysis, data is extracted from previous studies; therefore, the statistical population of this study included all the studies conducted on the effects of transcranial electrical stimulation (including direct current, random noise and alternating current stimulation) accessible on databases consists of Science Direct, Sage Journals, SID, Magiran, Noormags, and Irandoc. Since the richness of the samples to achieve the goals of the study was important, purposive sampling was used. First, the keywords "transcranial electrical stimulation", "transcranial random noise stimulation", "transcranial direct current stimulation", "specific learning disorder", "dyslexia" and "dyscalculia" were used for the systematic literature search. Note that we limited our goal to the application of electrical stimulation and not transcranial magnitude stimulation (TMS) as the former is the most available and commonly used method in clinical settings. After reviewing the background and applying the inclusion and exclusion criteria, 21 studies were selected as samples, and their effect sizes were extracted (64 effect sizes in total). The primary research information collection form was utilized to gather the required data in three domains: bibliography, methodology, and statistical information. The comprehensive meta-analysis (CMA) software was employed for analysis purposes.

## Results

As mentioned, overall, 64 effect sizes were extracted from 21 studies and included in the meta-analysis. These studies involved a total of 488 participants. In order to check for and prevent publication bias, the funnel plot and fail-safe N were used, which indicated the absence of publication bias. The fail-safe N statistic value was 3559, indicating that with the inclusion of 3559 non-significant studies (effect sizes) in the analysis, the combined effect size (summary effect size) would become non-significant. The combined effect size was calculated to be 0.37 in the fixed effects model and 0.38 in the random effects model, both of which were statistically significant ($p < 0.01$). In order to determine the final meta-analysis model and examine the heterogeneity among effect sizes, Cochran's Q and I-squared ($I^2$) indices were examined. The Q statistic, with a value of 78.85, was found to be statistically significant ($p < 0.05$), showing the presence of a significant difference (heterogeneity) among the effect sizes of the primary studies. However, the calculated value of I-squared ($I^2$) was 37.33, which according to interpretive criteria, points to a low to moderate level of heterogeneity among the effect sizes of the primary studies. Therefore, the fixed effects model was considered as the final meta-analysis model. We conducted secondary analyses to investigate the possible moderators and to explain the observed differences among the effect sizes of the primary studies. The results showed that different stimulation methods have different effect sizes. In this regard, the effect size of tRNS was 0.40 and the effect size of tDCS and tACS was 0.38 and 0.33 respectively. Moreover, we observed different effect sizes of stimulation in different domains. The effect size related to the effectiveness of tES on mathematics (0.42) was higher than those related to executive functions (0.40) and reading (0.28). We also only observed the moderating role of age in the effectiveness of tES in the meta-regression model ($Q = 35.25$) and the regression coefficient value (-0.16).

## Conclusion

The aim of the present study was to determine the effectiveness of transcranial electrical stimulation in executive functions and mathematics in individuals with specific learning disorder. Additionally, the study aimed to investigate the role of possible moderators in the effectiveness of brain stimulation. We observed medium effect size, indicating the significant positive impact of transcranial electrical stimulation methods on executive functions, mathematics, and reading in children with specific learning disorder. The subsequent findings revealed that tRNS was more effective than tDCS and tACS. Additionally, transcranial electrical stimulation showed better effectiveness in mathematics than executive functions and

reading. Furthermore, age was found to be a moderator and an influential factor in the effectiveness of transcranial electrical stimulation in this realm. The results of this study confirmed the findings of the previous studies (44-46, 48, 56, 60-63, 70, 73). We conclude that transcranial electrical stimulation, by influencing the sodium channels of neuron membranes, modulates neuronal oscillations and alters the excitability of neurons, leading to modulation of brain functions in children with specific learning disorder. This finding supports further modulation of neuroplasticity in those children (44-46, 56). It is suggested that future studies examine the impact of other within-protocol variables as moderators.

## Ethical Considerations

**Compliance with ethical guidelines:** This article is derived from the Ph.D. dissertation of the first author, Saeed Mohammadi Molod, in the field of educational psychology at the University of Tabriz. The scientific permission of this study was issued by the University of Tabriz in the session number 10 of the Department of Educational Sciences, through number 17/41129 dated 15/08/1401. Also, this research has the ethics ID IR.TABRIZU.REC.1401.089 issued by the Ethics Committee of Tabriz University.

**Funding:** The current research is derived from the thesis of the specialized doctorate course and was carried out with the financial support of the University of Tabriz.

**Authors' contribution:** The first author of this article served as the main researcher and was responsible for data collection and analysis. The second author played the role of the main supervisor, the third author as the advisor, and the last author as the secondary supervisor in this article.

**Conflict of interest:** There is no conflict of interest for the authors in the study, and the results of this research are completely transparent and reported without bias.

**Acknowledgments:** We would like to express our gratitude and appreciation to all individuals who have participated in the implementation of this study, including the responsible authors of the primary studies, who facilitated the completion of this Meta analysis by providing the required supplementary information and data.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**مقاله پژوهشی**

# فراتحلیل اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی کودکان دارای اختلال یادگیری ویژه

**سعید محمدی مولود[۱]، شهرام واحدی[۲*]، سمیه حیثیت طلب[۳]، مجتبی سلطانلو[۴و۵]**

۱. دانشجوی دکترای روان‌شناسی تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران

۲. استاد، گروه روان‌شناسی تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران

۳. استادیار، گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران

۴. استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده روان‌شناسی، دانشگاه سوری، گیلفورد، انگلستان

۵. استادیار، گروه روان‌شناسی کودک، دانشکده علوم تربیتی، دانشگاه ژوهانسبورگ، آفریقای جنوبی

## مشخصات مقاله

**کلیدواژه‌ها:**
اختلال یادگیری ویژه،
کارکردهای اجرایی،
تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای،
فراتحلیل،
فرارگرسیون

دریافت شده: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱
پذیرفته شده: ۱۴۰۲/۰۸/۱۹
منتشر شده: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

## چکیده

**زمینه و هدف:** اختلال یادگیری ویژه، اختلالی عصب تحولی است که یادگیری خواندن، نوشتن، و ریاضیات را با دشواری‌هایی مواجه می‌کند. تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یکی از مداخلاتی است که جهت بهبود اختلال یادگیری استفاده می‌شود. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف ترکیب نتایج پژوهش‌های انجام شده و کسب یک نتیجه کلی درباره میزان اثربخشی این مداخلات در بهبود کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری و کشف متغیرهای تعدیل‌کننده احتمالی با روش فراتحلیل انجام شد.

**روش:** جامعه آماری پژوهش، کلیه مطالعات منتشر شده شامل مقاله و پایان‌نامه با موضوع اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی بود که با جستجوی سیستماتیک و اعمال ملاک‌های ورود و خروج، ۲۱ مطالعه جهت ورود به فراتحلیل انتخاب شد و ۶۴ اندازه اثر از نوع d کوهن از این مطالعات استخراج شده و با نرم‌افزار CMA3 تحلیل شد.

**یافته‌ها:** یافته‌ها نشان داد که اندازه اثر ترکیبی محاسبه شده در هر دو مدل اثرات ثابت و تصادفی معنادار است که بر اساس ملاک تفسیری کوهن مقداری متوسط ارزیابی شد. همچنین اندازه اثر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با روش نویز تصادفی بیش از تحریک مستقیم و متناوب بود. نتایج فرارگرسیون نیز نشان داد که سن، نقش پیش‌بینی کننده و تعدیل‌کننده دارد و در سنین پایین‌تر می‌توان اثربخشی بهتری انتظار داشت.

**نتیجه‌گیری:** می‌توان تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به‌خصوص روش نویز تصادفی را به‌عنوان یکی از مداخلات کارآمد در بهبود کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی کودکان دارای اختلال یادگیری ویژه در نظر گرفت.

پرتال جامع علوم انسانی

* **نویسنده مسئول:** شهرام واحدی، استاد، گروه روان‌شناسی تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران

رایانامه: Vahedi117@yahoo.com

تلفن: ۰۴۱-۳۳۹۲۰۹۰

## مقدمه

از اواسط قرن بیستم، پژوهش و مطالعه پیرامون کودکانی آغاز شد که با وجود داشتن هوش طبیعی؛ در یادگیری با مشکل مواجه بودند و برای ادامه تحصیل و کسب مهارت‌های تحصیلی نیازمند بهره‌مندی از آموزش‌های ویژه[1] هستند (۱). در ویرایش پنجم راهنمای تشخیصی و آماری اختلال های روانی[2] این مشکلات یادگیری، با عنوان اختلال یادگیری ویژه[3] در طبقه اختلال‌های عصبی تحولی[4] طبقه‌بندی شده است. اختلال یادگیری ویژه نوعی اختلال عصبی- تحولی با منشأ زیست‌شناختی است که مبنای ناهنجاری‌هایی در سطح شناختی و علائم رفتاری همراه با این اختلال است. این اختلالات سبب ایجاد مشکلات دائمی[5] (نقص) در یادگیری خواندن، نوشتن، و ریاضی می‌شود (۲).

اختلالات یادگیری با عملکرد ضعیف کودکان در ریاضیات، خواندن، و نوشتن و در حالتی که با عملکرد آنان در آزمون های استاندارد با سطح هوشی و سنی آنها همخوان نباشد، تشخیص داده می‌شود (۳). البته این مقایسه تا حدود زیادی اختیاری است و بیشتر بر ملاک های بالینی تأکید می‌شود. به‌عبارت‌دیگر زمانی که عملکرد دانش‌آموز در خواندن، نوشتن، و حساب کردن پایین‌تر از سن، توانایی‌های هوشی، و تحصیلی مورد انتظار باشد و این عملکرد پایین ناشی از آسیب‌های شنوایی، بینایی، جسمانی و سایر عوامل فرهنگی و محیطی نباشد می‌توان وجود اختلال یادگیری را در دانش‌آموز استنباط کرد (۲)؛ بنابراین در دانش‌آموزان دارای اختلالات یادگیری ویژه می‌توان طیفی از مشکلات را در خواندن، نوشتن، و ریاضیات مشاهده کرد.

عصب‌شناسان با بررسی افراد دچار آسیب‌های مغزی (فیزیکی)، تشابهات زیادی در مشکلات رفتاری و یادگیری این افراد و افراد مبتلابه اختلالات یادگیری مشاهده کردند (۴). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات الکتروانسفالوگرافی[6]، پتانسیل‌های برانگیخته[7] یا پتانسیل‌های وابسته به رویداد[8] نیز بی‌نظمی‌های مغزی، و عملکرد نابهنجار مغز را در افراد مبتلابه اختلال‌های یادگیری شناسایی کرده است (۵).

در زمینه اختلال یادگیری با مشکل ریاضی، پژوهش‌های عصب‌روان شناختی و تصویربرداری عصبی[9] به شکنج درون‌آهیانه‌ای[10] مغز به‌عنوان یک منطقه کلیدی برای پردازش کمیت‌های عددی اشاره می‌کنند (۶). تقریباً تمام فرایندهای محاسباتی و عددی لوب آهیانه و به‌خصوص شکنج درون‌آهیانه‌ای را درگیر می‌کنند که حاکی از آن است که مناطق گفته شده هسته اصلی پردازش‌های ریاضی است (۷). الگوهای فعالیت مغز در کودکان ۴ ساله و بزرگسالان هنگام پاسخ به تکالیف پردازش اعداد، نواحی مشترکی[11] را در لوب آهیانه به‌صورت دوطرفه نشان می‌دهد (۸). بنابراین می‌توان گفت که یادگیری اعداد و ریاضی، لوب آهیانه و شکنج درون‌آهیانه‌ای را درگیر می‌کند. همچنین مشخص شده است که سازمان‌دهی پردازش‌های عددی معمولاً با افزایش سن تغییر می‌کند و از نواحی پیشانی[12] (که با کارکردهای اجرایی و حافظه کاری مرتبط هستند) و نواحی گیجگاهی میانی[13] (که با حافظه اخباری مرتبط است) به نواحی آهیانه (که با پردازش مقدار[14] و بازیابی قوانین حساب مرتبط است) و نواحی پس‌سری- گیجگاهی[15] (که با پردازش فرم‌های نمادین مرتبط است) منتقل می‌شود (۹).

تفاوت در اتصال مناطق مربوطه در لوب آهیانه و نیز مناطق آهیانه‌ای دو طرف و مناطق گیجگاهی- پس‌سری که با پردازش فرم نمادین عدد مرتبط است به‌وسیله تصویربرداری انتشار تانسور[16] آشکار شده است (۱۰). به‌عبارت‌دیگر در افراد مبتلابه اختلال ریاضی، ساختارهای عصبی مورد نیاز برای محاسبه به اندازه کافی رشد و توسعه نیافته است. مطالعات نشان می‌دهند که ناهنجاری‌ها در سیستم‌های لوب آهیانه به مهارت عددی، نابالغ و یا ضعیف مربوط می‌شوند (۱۱). می‌توان گفت تفاوت در ساختار و کارکرد و نارسایی در عملکرد نواحی مغزی مرتبط با ریاضی (به‌خصوص لوب آهیانه) در کودکان دارای اختلال یادگیری قابل تأیید

1. Special education
2. Diagnostic and statistical manual of mental disorders
3. Specific learning disorder
4. Neurodevelopmental disorders
5. Persistent
6. Electroencephalography
7. Evoked potentials (EP)
8. Event-related potentials (ERP)
9. Neuroimaging
10. Intraparietal sulcus (IPS)
11. Overlap
12. Frontal areas
13. Medial temporal areas
14. Magnitude processing
15. Occipito-temporal
16. Diffusion Tensor Imaging tractography (DTI)

است (۱۲)؛ بنابراین شاید بتوان ریشه بیشتر مشکلات دانش‌آموزان در اختلال یادگیری ویژه با مشکل ریاضی را در ابعاد نامیدن، شمارش، بزرگی اعداد، بازیابی واقعیت‌های ریاضی، محاسبات تقریبی، و حل مسائل کلامی (۱۳) در این تفاوت‌ها و نارسایی‌ها جستجو کرد.

در زمینه کودکان دارای اختلال یادگیری با آسیب خواندن نیز مطالعات تصویربرداری نشان داده‌اند که نیمکره چپ از جمله لوب گیجگاهی (۱۴، ۱۵) و لوب پیشانی تحتانی به‌خصوص نواحی خلفی در خواندن نقش مهمی دارند (۱۶، ۱۷). مطالعات مختلف انجام شده بر روی افراد نارساخوان، کم‌کاری[1] در مناطق خلفی آهیانه‌ای-گیجگاهیِ خلفی[2] و پس سری-گیجگاهی شکمی[3] و پرکاری[4] در نواحی پیشانیِ تحتانی[5] را هنگام خواندن و تکالیف مربوط به خواندن نشان داده‌اند (۱۸، ۱۹). با وجود این مستندترین یافته‌های حاصل از مطالعات تصویربرداری عصبی در زمینه نارساخوانی، کم‌کاری ناحیه آهیانه‌ای-گیجگاهی سمت چپ را در زمان پردازش واج‌شناختی نشان می‌دهند (۲۰).

همچنین نتایج پژوهش‌های مختلف حاکی از وجود تفاوت معنادار میان عملکرد حافظه کاری کودکان با و بدون نارساخوانی است (۲۱-۲۳). علاوه بر این پژوهش‌های پیشین حاکی از عملکرد پایین کودکان دارای اختلال یادگیری ریاضی در کارکردهای اجرایی بوده است (۲۴-۲۹). آلووی نیز اشاره می‌کند که ظرفیت حافظه کاری پیشرفت تحصیلی کودکان را در ریاضیات پیش‌بینی می‌کند (۳۰) و ضعف حافظه کاری یکی از مشکلات اساسی کودکان و بزرگسالان دارای اختلال ریاضی است (۳۱، ۳۲).

شیوع اختلالات یادگیری ویژه در حوزه‌های تحصیلی خواندن، نوشتن، و ریاضیات در میان کودکان دبستانی در زبان‌های مختلف از ۵ تا ۱۵ درصد است (۲). شیوع اختلال یادگیری ویژه ریاضی نیز به‌تنهایی ۷ درصد گزارش شده است (۳۳، ۳۴). علاوه بر این بسیاری از دانش‌آموزان مبتلابه اختلال یادگیری دارای مشکلات اجتماعی، عاطفی، و تحصیلی هستند که اغلب نادیده گرفته می‌شوند (۳۵). با توجه به شیوع بالای اختلال یادگیری در میان کودکان و مشکلاتی که به دنبال دارد، اقدام به درمان و کمک به بهبود این کودکان، بسیار ضروری است.

در راستای درمان و بهبود این گروه از کودکان مداخلات مختلفی از جمله مداخلات رفتاری، شناختی (۳۶) و آموزشی به کار گرفته شده است. اما یکی از روش‌های درمانی جدید در این حیطه، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای[6] است که بر اساس یافته‌های علوم اعصاب و با روش‌ها و تکنیک‌های مختلف به کار گرفته می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم[7]، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان متناوب[8]، و تحریک الکتریکی با نویز تصادفی[9] اشاره کرد.

تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک روش ارزان، ایمن، و بدون درد است (۳۷-۳۹) که در قالب آن جریان الکتریکی ضعیفی با شدت ۱ تا ۴ میلی‌آمپر به پوست سر وارد می‌شود و عبور این جریان از مغز سبب تغییراتی در مغز می‌شود (۴۰-۴۲). به نظر می‌رسد این تغییرات حاصل تغییر در مکانیسم پتانسیل عمل و تحریک‌پذیری نورون‌ها و قشر مغز (۴۳-۴۹) و تغییر در سطوح انتقال‌دهنده‌های عصبی (۵۰-۵۲) است که در این میان سن افراد (۵۳-۵۵) و در نتیجه نوروپلاستیسیته مغزی (۵۶ و ۵۷) نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان اثربخشی و تبیین سازوکار اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای ایفا می‌کند.

پارامترهای فیزیکی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای شامل شدت جریان، منطقه تحریک، اندازه الکترود، مدت زمان تحریک، و قطبیت جریان (کاتد یا آند در تحریک با جریان مستقیم) هریک موجب تأثیرات متفاوتی می‌شوند (۵۸). برای مثال در تحریک با جریان مستقیم، جریان الکتریکی مستقیم، شدت و قطبیت ثابت است، درحالی‌که در تحریک نویز تصادفی، جریان متناوب و فرکانس تصادفی است (۵۹).

در این راستا تاثیرتحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی، عملکرد ریاضی، و سایر عملکردهای شناختی در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۶۰-۷۲). مطالعات دیگری اثربخشی تحریک الکتریکی با جریان مستقیم را مورد بررسی قرار

1. Hypoactivation
2. Dorsal parieto-temporal regions
3. Ventral occipito-temporal regions
4. Overactivation
5. Inferior frontal regions

6. Transcranial electrical stimulation (tES)
7. Transcranial direct current stimulation (tDCS)
8. Transcranial alternating current stimulation (tACS)
9. Transcranial random noise stimulation (tRNS)

داده‌اند (۷۳-۷۷) و در دیگر پژوهش‌ها به اثربخشی تحریک الکتریکی با نویز تصادفی پرداخته شده است (۴۶، ۶۳، ۶۸، ۷۸-۸۰)

از آنجایی که کاربرد این روش در حیطه اختلالات یادگیری، سابقه‌ای طولانی ندارد و نتایج پژوهش‌های انجام شده نیز متفاوت است، کسب یک نتیجه‌گیری کلی درباره میزان تأثیر روش های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر اختلال یادگیری خاص می‌تواند برای مطالعات آینده و نیز کاربرد بالینی این روش راهگشا باشد. بر همین اساس هدف پژوهش حاضر آن است که پژوهش‌های انجام شده در این حیطه بررسی شود و با بهره‌گیری از روش فراتحلیل و استفاده از نتایج کمّی پژوهش های انجام شده در این زمینه به یک نتیجه‌گیری کلی درباره میزان و چگونگی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر اختلال یادگیری ویژه دست یابیم و نیز تناقضات احتمالی را مورد بررسی قرار داده و با بهره‌گیری از نتایج حاصل از پژوهش‌ها در جهت حل آنها برآییم. به‌طور جزئی‌تر می‌توان گفت که این پژوهش در پی آن است که تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را بررسی کند، در ادامه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر عملکرد ریاضی و عملکرد خواندن را مقایسه نماید، و نیز متغیرهای تعدیل‌کننده احتمالی همچون انواع حالت[1] یا روش‌های تحریک الکتریکی و سن را نیز بررسی کند.

## روش

**الف) طرح پژوهش و شرکت‌کنندگان:** پژوهش حاضر با روش فراتحلیل[2] کمّی به انجام رسید. بر اساس تعریف کوهن، فراتحلیل، روشی آماری است که نتایج مجموعه‌ای از مطالعات مستقل که فرضیه‌های مشابهی را آزمون می‌کند، ترکیب می‌کند و از آماره‌های استنباطی برای نتیجه‌گیری درباره تمام نتایج مطالعات استفاده می‌کند. به‌عبارت‌دیگر زمانی که هدف پژوهش ترکیب نتایج کمّی مطالعات انجام شده در یک موضوع مشخص و کسب یک نتیجه و اندازه اثر کلی از آن باشد، از روش فراتحلیل استفاده می‌شود (۸۱).

در فراتحلیل، داده‌ها از مطالعات پیشین استخراج می شود و حاصل نتایج کمّی پژوهش‌هایی است که در یک حیطه خاص به انجام رسیده است. بنابراین جامعه آماری پژوهش حاضر کلیه مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (تحریک با نویز تصادفی، تحریک با جریان مستقیم و متناوب) است که در بانک‌های اطلاعاتی رایانه‌ای، شامل پایگاه اطلاعاتی ساینس دایرکت[3]، سیج ژورنالز[4]، جهاد دانشگاهی[5]، سایت خصوصی بانک مجلات ایران[6] و پایگاه مجلات تخصصی نور[7]، پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران[8] (ایرانداک) قابل دسترسی است.

با توجه به این که در پژوهش حاضر غنی بودن نمونه ها از نظر اطلاعات مورد نیاز جهت پاسخگویی به هدف‌های پژوهش مورد نظر بود؛ از نمونه‌گیری هدفمند[9] استفاده شد. نمونه‌گیری هدفمند روشی است که در آن مواردی انتخاب می‌شوند که به‌احتمال‌زیاد اطلاعات مفید و مناسبی از آنها حاصل می‌شود (۸۲). در این راستا بر اساس مرور پیشینه پژوهشی کلیدواژه‌ها عبارت‌اند از: "تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای"، "تحریک نویز تصادفی"، "تحریک غیرتهاجمی"، "تحریک الکتریکی مستقیم"، "اختلال یادگیری خاص"، "اختلالات یادگیری ویژه"، "نارساخوانی"، "اختلال ریاضی"، "اختلال یادگیری خاص با آسیب ریاضی"، "اختلال یادگیری خاص با آسیب خواندن"، "tRNS"، "tDCS"، "tES"، "transcranial electrical stimulation"، "transcranial random noise stimulation"، "transcranial direct current stimulation".

پس از جستجوی پیشینه با هدف انتخاب مطالعات غنی و مناسب به‌عنوان نمونه، ملاک هایی جهت ورود و خروج پژوهش ها به فرایند فراتحلیل حاضر تعیین شد. ملاک‌های ورود عبارت‌اند از: ۱. مقالات و پژوهش‌هایی که در طرح‌های آزمایشی مختلف به بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر اختلال یادگیری ویژه پرداخته‌اند، ۲. مقالات مرتبطی که بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ (۱۹۹۲-۲۰۲۳) چاپ شده‌اند، ۳. پژوهش‌هایی که داده‌ها و اطلاعات کافی برای محاسبات

1. Mode
2. Meta-analysis
3. ScienceDirect
4. SAGE Journals
5. SID
6. Magiran
7. Noormags
8. IranDoc
9. Purposive sampling

لازم را گزارش کرده‌اند، و ۴. مقالاتی که دارای متن کامل (تمام متن) بوده و به‌صورت آنلاین قابل دسترس هستند. ملاک‌های خروج نیز به شرح زیر بوده است: ۱. پژوهش‌هایی که اطلاعات و آماره‌های لازم برای محاسبه اندازه اثر را گزارش نکرده بودند، ۲. پژوهش‌های واحدی که با عناوین یکسان یا مشابه در بیش از یک مجله یا فصلنامه به چاپ رسیده بودند، و ۳. پژوهش‌هایی که طرح کیفی یا غیرآزمایشی داشتند. پس از انجام جستجو و اعمال ملاک‌های ورود و خروج، در نهایت ۲۱ پژوهش به‌عنوان نمونه انتخاب شد و ۶۴ اندازه اثر آنها استخراج شد. مراحل جستجو، بررسی و انتخاب پژوهش‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

**ب) ابزار:** به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از فرم جمع‌آوری اطلاعات پژوهش‌های اولیه (محقق‌ساخته) استفاده شد. با بهره‌گیری از این فرم ساده، اطلاعات پژوهش‌های اولیه به‌صورت کامل در سه بخش اطلاعات کتاب شناختی، روش شناسی، و اطلاعات آماری مورد نیاز برای محاسبه اندازه اثر جمع‌آوری می‌شود. با توجه به اینکه نمونه این پژوهش مطالعات آزمایشی بود، از اندازه اثر d کوهن (تفاوت استاندارد میانگین) استفاده شد. برای محاسبات مربوط به اندازه‌های اثر در مدل‌های مختلف، ترسیم نمودارها، آزمون ناهمگنی، و سایر تحلیل‌ها از نسخه ۳ نرم‌افزار فراتحلیل[1] استفاده شد.

**شکل ۱: دیاگرام فرایند گردآوری پژوهش‌های اولیه**

## یافته‌ها

همان‌طور که گفته شد در مجموع ۲۱ مطالعه (۱۸ مطالعه اصلی با موضوع عملکرد ریاضی و کارکردهای اجرایی و ۳ پژوهش فرعی با موضوع نارساخوانی) جهت ورود به فرایند فراتحلیل انتخاب شد که در این پژوهش‌ها در مجموع ۴۸۸ نفر به‌عنوان نمونه مشارکت داشته‌اند. جدول ۱ خلاصه اطلاعات مربوط به هریک از مطالعات اولیه را نشان می‌دهد.

لازم به توضیح است که برخی مطالعات (۸۳–۸۵) با موضوع اثربخشی تحریک الکتریکی بر نارساخوانی انجام شده است اما با هدف انجام برخی تحلیل‌های ثانویه در خصوص و مقایسه میزان اثربخشی تحریک الکتریکی بر عملکرد خواندن و ریاضی به‌عنوان مطالعات فرعی وارد فرایند فراتحلیل شده و در محاسبه اندازه اثرِ ترکیبیِ مربوط به فرضیه اصلی پژوهش که مربوط به کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی است مورد استفاده قرار نگرفته است.

1. Comprehensive meta-analysis (CMA)

**جدول ۱: خلاصه اطلاعات پژوهش‌های اولیه و مقادیر اندازه‌های اثر استخراجی**

| نویسنده (سال) | طرح پژوهش | تعداد جنسیت و سن آزمودنی‌ها | نوع جریان تحریک الکتریکی | متغیر وابسته | خرده مقیاس | اندازه اثر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لویی و همکاران (۸۶) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون-<br>پس‌آزمون با گروه کنترل | ۱۲<br>دختر/پسر<br>۸-۱۱/۵ | تحریک الکتریکی<br>با نویز تصادفی | عملکرد ریاضی | - | ۰/۴۳ |
| یوکالانو و همکاران (۱۱) | نیمه‌آزمایشی<br>پیش‌آزمون-<br>پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲<br>دختر با میانگین سن<br>۲۹٫۵ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | عملکرد ریاضی | -<br>- | ۰/۴۱<br>۰/۴۲ |
| هوسر و همکاران (۸۷) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون-<br>پس‌آزمون با گروه کنترل | ۳۷<br>دختر/ پسر<br>۲۲-۲۴ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | پردازش عددی | دقت<br>سرعت<br>دقت<br>سرعت | ۰/۴۳<br>*۰/۴۶<br>۰/۳۴<br>۰/۳۶ |
| واقف و همکاران (۸۸) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۰<br>دختر/ پسر<br>۸-۱۲ | تحریک الکتریکی<br>با جریان متناوب | توجه | دقت<br>سرعت | *۰/۵۸<br>۰/۲۱ |
| ارجمندنیا و همکاران (۸۹) | شبه‌آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۰<br>دختر/ پسر<br>۷-۱۴ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | حافظه فعال | - | *۰/۵۶ |
| بیات مختاری و همکاران (۹۰) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه پلاسیبو | ۲۰<br>پسر<br>۸-۱۰ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | حافظه کاری دیداری | - | ۰/۲۷ |
| بیات مختاری و همکاران (۹۱) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه پلاسیبو | ۲۰<br>پسر<br>۸-۱۰ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | حافظه کاری شنیداری | - | ۰/۲۵ |
| باقری و همکاران (۹۲) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۰<br>دختر/ پسر<br>۷-۱۱ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | سرعت پردازش<br>علائم نارساخوانی | سرعت پردازش<br>پردازش واجی<br>سیالی کلامی | *۰/۶۸<br>*۰/۵۹<br>*۰/۵۷ |
| مسلمی و همکاران (۹۳) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۴<br>پسر<br>۸-۱۰ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | توجه و حافظه فعال | توجه<br>دیداری<br>شنیداری<br>خواندن | *۰/۵۴<br>*۰/۶۹<br>۰/۴۳<br>۰/۴۳ |
| احمدی و همکاران (۹۴) | آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۶<br>دختر/ پسر<br>۷-۹ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | توجه انتخابی و<br>عملکرد مداوم | توجه<br>عملکرد | *۰/۶۲<br>۰/۳۴ |
| روح الامینی و همکاران (۹۵) | نیمه‌آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۰<br>دختر/ پسر<br>۷-۹ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | توجه انتخابی،<br>انعطاف‌پذیری شناختی | توجه<br>انعطاف | ۰/۴۶<br>*۰/۵۶ |
| عارفانیان و همکاران (۹۶) | نیمه‌آزمایشی<br>پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۳۰<br>دختر/ پسر<br>۹-۱۲ سال | تحریک الکتریکی<br>با جریان مستقیم | کارکردهای اجرایی | بازداری<br>انتقال<br>کنترل هیجان | *۰/۵۱<br>*۰/۵۸<br>*۰/۴۴ |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

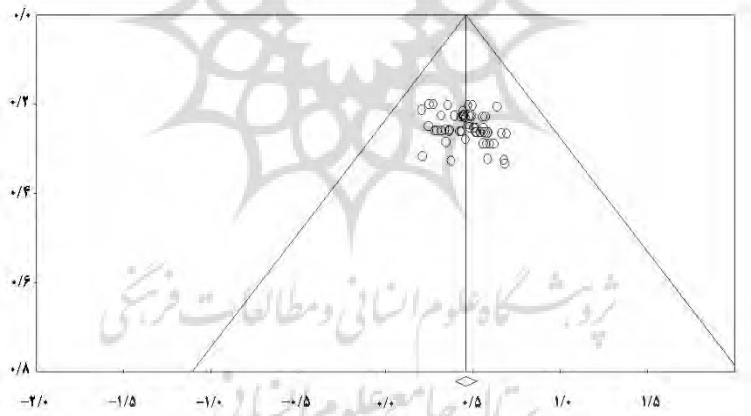
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | حافظه کاری | ۰/۶۶* |
| | | | | | برنامه‌ریزی | ۰/۴۷* |
| | | | | | سازمان‌دهی | ۰/۵۸* |
| | | | | | نظارت | ۰/۵۷* |
| رجائی پور و همکاران (۹۷) | نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۲۰ دختر/ پسر ۱۳-۹ سال | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | حافظه کاری | – | ۰/۴۷* |
| | | | | | بازداری | ۰/۵۰* |
| | | | | | انتقال | ۰/۵۲* |
| نصرت ناهوکی و همکاران (۹۸) | نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۴۵ دختر/ پسر ۱۲-۹ سال | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | کارکردهای اجرایی | کنترل هیجان | ۰/۴۸ |
| | | | | | حافظه کاری | ۰/۵۶* |
| | | | | | برنامه‌ریزی | ۰/۲۴ |
| | | | | | سازمان‌دهی | ۰/۲۰ |
| | | | | | نظارت | ۰/۴۴* |
| زمستانی و همکاران (۹۹) | نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل | ۶۰ دختر/ پسر ۱۲-۷ سال | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | توجه | – | ۰/۵۱* |
| خواهشی (۱۰۰) | نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۳۰ دختر/ پسر ۱۱-۷ سال | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم و جریان متناوب | عملکردهای شناختی | حافظه کاری | ۰/۴۴* |
| | | | | | توجه | ۰/۴۹* |
| | | | | | سرعت پردازش | ۰/۴۵* |
| | | | | | حافظه کاری | ۰/۴۸* |
| | | | | | توجه | ۰/۴۹* |
| | | | | | سرعت پردازش | ۰/۴۴* |
| رحیمی و همکاران (۱۰۱) | نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۱۸ دختر/ پسر ۱۲-۸ | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | توجه دیداری | پ سازگار | ۰/۳۲ |
| | | | | | پ ناسازگار | ۰/۳۹ |
| | | | | | پاسخ صحیح | ۰/۵۷* |
| | | | | | زمان واکنش | ۰/۵۵* |
| فهیم نیا (۱۰۲) | طرح آزمایشی مورد منفرد | ۲ دختر/پسر ۸-۷ | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | حافظه کاری و توجه | حافظه کاری | ۰/۳۶ |
| | | | | | توجه | ۰/۲۹ |
| تابنده ساروی (۸۳) | آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۱۰ پسر ۱۲-۸ | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | خواندن | – | ۰/۴۳ |
| کاستانزو و همکاران (۸۴) | آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۱۸ دختر/ پسر ۱۶-۱۰ | تحریک الکتریکی با جریان مستقیم | خواندن | خطا (متن) | ۰/۵۷* |
| | | | | | سرعت (متن) | ۰/۵۲* |
| | | | | | خطا (HF) | ۰/۲۸ |
| | | | | | سرعت(HF ) | ۰/۳۲ |
| | | | | | خطا (HF) | ۰/۵۲* |
| | | | | | سرعت(LF ) | ۰/۵۴* |
| | | | | | خطا (ناکلمه) | ۰/۵۰* |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | سرعت (ناکلمه) | *۰/۶۴ |
| | | | | | – | *۰/۶۸ |
| روفنر و همکاران (۸۵) | آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل | ۳۴ دختر/ پسر ۱۶-۱۰ سال | تحریک الکتریکی با جریان متناوب و نویز تصادفی | پردازش واجی | – | ۰/۳۷ |
| | | | | | – | *۰/۴۸ |
| | | | | | – | *۰/۳۹ |

P≤۰/۰۵ *

جدول ۱ خلاصه اطلاعات مطالعات اولیه این فراتحلیل را نشان می‌دهد که مبنای محاسبه اندازه اثر ترکیبی و سایر محاسبات است. با هدف بررسی و پیشگیری از سوگیری‌های احتمالی در فرایند فراتحلیل، یکی از عوامل تأثیرگذار بر نتایج یعنی سوگیری انتشار[1] با بهره‌گیری از نمودار قیفی[2] و شاخص امن از تخریب[3] مورد بررسی قرار گرفت. نمودار قیفی یک نمودار پراکندگی ساده است که پراکندگی اندازه‌های اثر مطالعات (اثرات درمان و مداخله) را بر اساس خطای معیار مطالعات نشان می‌دهد. اندازه اثرهایِ پژوهش‌های با حجم نمونه کوچک (خطای معیار بزرگ‌تر) در پایین نمودار و اندازه اثرهای حاصل پژوهش‌های با نمونه بزرگ‌تر (خطای معیار کوچک‌تر) در بالای نمودار و نزدیک به خط وسط (اندازه اثر خلاصه) پراکنده می‌شوند (۱۰۳). بنابراین با ارزیابی بصری نمودار قیفی از لحاظ تقارن پراکندگی اندازه‌های اثر، می‌توان درباره سوگیری انتشار تصمیم‌گیری کرد. شاخص امن از تخریب روزنتال نیز یک روش آماری است که مقدار آن نشان می‌دهد که با افزوده شدن چه تعداد پژوهش با نتایج غیرمعنادار به فراتحلیل، اندازه اثر خلاصه غیر معنادار خواهد شد (۱۰۴، ۱۰۵).




**شکل ۲: نمودار قیفی اندازه‌های اثر پژوهش‌های اولیه**

نمودار قیفی مربوط به اندازه‌های اثر حاصل از مطالعات اولیه در شکل ۲ نشان داده شده است که حاکی از تقارن مناسب پراکندگی اندازه های اثر در دو سوی اندازه اثر خلاصه (خط عمودی وسط نمودار) است و اندازه اثر افراطی و پرت نیز مشاهده نمی‌شود، بنابراین نیاز به حذف و کنار گذاشتن هیچ اندازه اثری نیست. همچنین آماره امن از تخریب مقدار آماره امن از تخریب نیز **۳۵۵۹** به دست آمد که حاکی از آن است که با ورود **۳۵۵۹** مطالعه (اندازه اثر) غیرمعنادار به تحلیل، اندازه اثر ترکیبی (اندازه اثر خلاصه) غیرمعنادار خواهد شد. بر اساس مطالب ذکر شده می‌توان از عدم وجود سوگیری انتشار شدید اطمینان حاصل نمود.

1. Publication bias
2. Funnel plot
3. Number of missing studies that would bring p-value to > alpha (NF-S)

به‌طورکلی نتایج فراتحلیل در قالب دو مدل اثرات ثابت[1] و اثرات تصادفی[2] ارائه می‌شود. در مدل ثابت فرض است که یک اندازه اثر واقعی و ثابت وجود دارد که ناشناخته بوده و اندازه اثر خلاصه برآوردی از آن است و تفاوت در برآوردها به دلیل خطای نمونه‌گیری است. اما در مدل اثرات تصادفی فرض بر این است که اندازه اثر واقعی بسته به ویژگی‌های جامعه و نمونه و سایر ویژگی‌ها در پژوهش‌های مختلف، متفاوت است (۱۰۶).

جدول ۲ اندازه اثر ترکیبی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را در دو مدل اثرات ثابت و تصادفی نشان می‌دهد.

**جدول ۲: اندازه اثر ترکیبی اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه**

| مدل | تعداد اندازه اثر | اندازه اثر ترکیبی | خطای استاندارد | فاصله اطمینان ۹۵٪ | | Z | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | حد پایین | حد بالا | | |
| ثابت | ۴۹ | ۰/۳۷ | ۰/۰۳۱ | ۰/۳۱۶ | ۰/۴۳۹ | ۱۲/۱۰ | ۰/۰۰۱ |
| تصادفی | ۴۹ | ۰/۳۸ | ۰/۰۳۷ | ۰/۳۰۸ | ۰/۴۵۲ | ۱۰/۳۴ | ۰/۰۰۱ |

همان‌طور که در جدول ذکر شده است مقدار اندازه اثر ترکیبی در مدل اثرات ثابت ۰/۳۷ و در مدل اثرات تصادفی ۰/۳۸ محاسبه شده است که هردو از لحاظ آماری معنادار است ($P\leq$۰/۰۱).

به‌منظور تعیین مدل نهایی فراتحلیل و نیز بررسی میزان پراکندگی در میان اندازه‌های اثر حاصل از مطالعات اولیه لازم است که برخی تحلیل‌های ناهمگنی[3] انجام شود. در این راستا از دو شاخص Q کوکران و شاخص مجذور I استفاده می شود. Q کوکران یک آزمون آماری بر مبنای آزمون مجذور کای است و آماره Q شاخصی است از میزان پراکنش اندازه اثر های پژوهش های اولیه که معناداری آن حاکی از وجود ناهمگنی در میان پژوهش‌های اولیه است (۱۰۷، ۱۰۸). اما با توجه به محدودیت‌های این شاخص از جمله احتمال تأثیرپذیری این شاخص از حجم نمونه، هیگنز و همکاران (۱۰۹) شاخص مجذور I را پیشنهاد می‌دهند که شکل توسعه‌یافته‌ای از آزمون Q است. این آماره مقداری بین ۰ تا ۱۰۰ می‌تواند داشته باشد که به شکل درصد و بر اساس ملاکی که ارائه داده‌اند مقادیر ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ را به ترتیب ناهمگنی شدید، متوسط، و کم تفسیر می‌شود.

**جدول ۳: شاخص‌های ناهمگنی اندازه اثرِ اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه ای بر اختلال یادگیری ویژه**

| مقدار Q | درجه آزادی | سطح معناداری | مجذور I |
|---|---|---|---|
| ۸۵/۷۸ | ۴۸ | ۰/۰۱ | ۳۳/۳۷ |

جدول ۳ مقادیر شاخص های ناهمگنی (Q و $I^2$) مربوط به اندازه اثرهای تحریک الکتریک فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می شود، مقدار شاخص Q، ۸۵/۷۸ به دست آمده است که از لحاظ آماری معنادار بوده ($P<$۰/۰۵) و حاکی از وجود تفاوت در میان اندازه‌های اثر پژوهش‌های اولیه است اما مقدار مجذور I در این مطالعه ۳۳/۳۷ به دست آمده است که بر اساس معیار تفسیری ذکر شده، این مقدار نشان‌دهنده ناهمگنی کم رو به متوسط در پژوهش‌های اولیه است. بنابراین می‌توان مدل اثرات ثابت را به‌عنوان مدل نهایی فراتحلیل در نظر گرفت. اما با توجه به وجود ناهمگنی متوسط و از سوی دیگر امکان بررسی تأثیرگذاری احتمالی برخی متغیرها بر میزان اثربخشی، لازم است برخی تحلیل‌های ثانویه انجام شود تا تأثیر احتمالی برخی متغیرها به‌عنوان متغیر تعدیل‌کننده بررسی شده و تفاوت‌های مشاهده شده در میان اندازه‌های اثر مطالعات اولیه نیز تبیین شود. بر همین اساس با توجه به ارائه اطلاعات لازم در خصوص نوع تحریک (مستقیم، نویز تصادفی و متناوب) و سن آزمودنی‌ها در مطالعات اولیه امکان انجام

1. Fixed effects
2. Random effects
3. Heterogeneity

تحلیل‌های بیشتر مقدور بود. بنابراین این دو متغیر به‌عنوان متغیر تعدیل‌کننده احتمالی در نظر گرفته شد و تحلیل‌های ثانویه با بهره‌گیری از این متغیرها انجام شد.

همان‌گونه که اشاره شد در مداخلاتِ مطالعات اولیه این پژوهش از سه مود یا روش تحریکی شامل؛ تحریک با جریان مستقیم، تحریک با جریان متناوب، و تحریک با نویز تصادفی استفاده شده است. بدیهی است که اندازه اثرهای حاصل از هریک از این روش‌ها و به‌تبع آن میزان اثربخشی هریک آنها می‌تواند متفاوت از یکدیگر باشد. بنابراین با توجه به استاندارد بودن اندازه اثر d، می‌توان اندازه اثرهای حاصل از هریک از روش‌های تحریکی را باهم مقایسه کرد. جدول ۴ اندازه اثر ترکیبی مربوط به اثربخشی تحریک الکتریکی را به تفکیک هریک از روش‌ها نشان می‌دهد.

**جدول ۴: اندازه اثر ترکیبی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه به تفکیک روش‌های تحریک (متغیرهای پیشایند)**

| نوع تحریک | اندازه اثر ترکیبی | خطای استاندارد | فاصله اطمینان ٪۹۵ | | Z | P | $I^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | حد پایین | حد بالا | | | |
| نویز تصادفی | ۰/۴۰ | ۰/۱۶۸ | ۰/۰۶۶ | ۰/۷۲۵ | ۲/۳۵ | ۰/۰۱۹ | ۶/۲۳ |
| جریان مستقیم | ۰/۳۸ | ۰/۰۳۴ | ۰/۳۱۱ | ۰/۴۴۳ | ۱۱/۲۳ | ۰/۰۰۱ | ۲۹/۲۸ |
| جریان متناوب | ۰/۳۳ | ۰/۰۹۷ | ۰/۱۳۶ | ۰/۵۱۵ | ۲/۵۷ | ۰/۰۱ | ۴/۶۱ |

جدول ۴ اندازه اثرِ ترکیبیِ اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را به تفکیک روش‌های تحریک الکتریکی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بزرگ‌ترین مقدار اندازه اثر مربوط به تحریک با نویز تصادفی است (۰/۴۰) که از لحاظ آماری نیز معنادار است (P< ۰/۰۵). کوچک‌ترین اندازه اثر نیز مربوط به تحریک متناوب است (۰/۳۳) که این اندازه اثر نیز معنادار است (P< ۰/۰۱). مقدار شاخص مجذور I نیز پس از تفکیک، کاهش محسوس داشته است، بنابراین می‌توان مقداری از ناهمگنی موجود در میان اندازه های اثر حاصل از مطالعات اولیه را به متغیرهای مستقل یعنی تفاوت در روش‌های تحریک نسبت داد.

از سوی دیگر همان‌گونه که در قسمت‌های قبلی اشاره شد، مطالعات اولیه تأثیر تحریک الکتریکی بر کارکردهای اجرایی، عملکرد ریاضی و خواندن را مورد بررسی قرار داده بودند. بر همین اساس این سه متغیر وابسته به‌عنوان متغیر پیامد چندگانه در نظر گرفته شد و تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به تفکیک هر یک از متغیرهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت تا امکان مقایسه نیز فراهم شود.

**جدول ۵: اندازه اثر ترکیبی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی، عملکرد ریاضی، و خواندن دانش آموزان دارای اختلال یادگیری ویژه (متغیرهای پیامد)**

| متغیر پیامد | تعداد اندازه اثر | اندازه اثر ترکیبی | خطای استاندارد | فاصله اطمینان ٪۹۵ | | Z | P | $I^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | حد پایین | حد بالا | | | |
| کارکردهای اجرایی | ۴۰ | ۰/۴۰ | ۰/۰۴۰ | ۰/۳۲۴ | ۰/۴۷۱ | ۱۰/۶۳ | ۰/۰۰۱ | ۱۲/۶۵ |
| عملکرد ریاضی | ۷ | ۰/۴۲ | ۰/۲۰۹ | ۰/۰۱۷ | ۰/۸۳۵ | ۲/۰۴ | ۰/۰۴ | ۲/۰۴ |
| عملکرد خواندن | ۱۷ | ۰/۲۸ | ۰/۰۵۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۳۹۹ | ۴/۸۳ | ۰/۰۱ | ۲۲/۳۰ |

جدول ۵ اندازه اثر ترکیبی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی، عملکرد ریاضی، و خواندن افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول نشان داده شده است اندازه اثر ترکیبی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر عملکرد ریاضی ۰/۴۲ به دست آمده است که این مقدار معنادار بوده و بیشتر از دو گروه دیگر است. همچنین نتایج حاکی از آن

است که کمترین اندازه اثر مربوط به عملکرد خواندن است که این مقدار نیز معنادار است (P≤۰/۰۱).

از سوی دیگر بررسی مطالعات اولیه حاکی از آن بود اگر چه آزمودنی‌های هریک از پژوهش‌ها در محدوده سنی خاصی قرار داشته‌اند اما در مجموع مداخلات بر روی ۴۸۸ آزمودنی با محدوده سنی ۷ تا ۲۹/۵ سال به انجام رسیده است. به‌عبارت‌دیگر شرکت‌کنندگان دراین پژوهش ها سنین مختلفی داشته و سن آزمودنی های پژوهش ها و گروه‌های مختلف مقایسه طیف نسبتاً گسترده‌ای دارد. در نتیجه می‌توان آن را یکی از عوامل ایجاد تفاوت در میان اندازه اثرها در نظر گرفت و تعدیل‌کنندگی و قدرت تبیین آن در ناهمگنی مشاهده شده را با استفاده از روش فرارگرسیون[1] مورد آزمون قرار داد.

**جدول ۶: نتایج مدل فرارگرسیون اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه**

| ضرایب | | | | | مدل رگرسیون | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | ضریب | خطای استاندارد | مقدار Z | سطح معناداری | منابع | مقدار Q | درجه آزادی | سطح معناداری |
| عرض از مبدأ | ۰/۳۷ | ۰/۰۳۹ | ۹/۴۱ | ۰/۰۰۱ | رگرسیون | ۲۵/۳۵ | ۱ | ۰/۰۰۱ |
| | | | | | باقیمانده | ۶۲/۱۱ | ۶۲ | ۰/۴۷ |
| شیب (سن) | -۰/۰۱۶ | ۰/۰۲۲ | -۵/۰۳ | ۰/۰۰۱ | کل | ۸۷/۴۶ | ۶۳ | ۰/۰۲ |

جدول ۶ نتایج مدل فرارگرسیون اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر کارکرد های اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار شیب رگرسیون ۰/۰۱۶- به دست آمده است که این مقدار معنادار است (P<۰/۰۵) و نشان می‌دهد که متغیر سن در مدل فرارگرسیون نقش پیش‌بینی کننده دارد و علامت منفی حاکی از آن است که متغیر سن (که تعدیل‌کنندگی آن در قالب مدل فرارگرسیون مورد آزمون قرار گرفته است) دارای ارتباط معکوس با میزان اثربخشی است. به‌عبارت‌دیگر بر اساس داده‌های این پژوهش، سن با میزان اثربخشی رابطه معکوس دارد. همچنین در آزمون معناداری مدل رگرسیون نیز مقدار Q برای مدل رگرسیون ۲۵/۳۵ به دست آمد که معناداری آن، نشان‌دهنده مدل رگرسیون پیش‌بینی شده است. همچنین با توجه به مقادیر به دست آمده برای مدل رگرسیون و باقیمانده و مقایسه آن با Q کل می‌توان گفت که حدود ۲۸ درصد از پراکنش مشاهده شده را می‌توان بر اساس متغیر سن تبیین کرد.

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش تعیین اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر کارکرد های اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه و بررسی متغیر های تعدیل‌کننده احتمالی بود. به‌عبارت‌دیگر پژوهش حاضر به دنبال آن بود که میزان اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر کارکرد های اجرایی و عملکرد افراد دارای اختلال یادگیری ویژه را تعیین و متغیرهای تعدیل‌کننده مؤثر بر میزان اثربخشی را نیز بررسی کند و مقادیر تأثیرات احتمالی آنها را محاسبه کند. با توجه به مقدار اندازه اثر ترکیبی محاسبه شده و با بهره‌گیری از ملاک تفسیری کوهن (۸۱)، مقدار اندازه اثر محاسبه شده را می‌توان مقداری متوسط ارزیابی کرد[2] که حاکی از اثربخشی مناسب و قابل توجه انواع روش های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکرد های اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه است. در ادامه تحلیل‌های ثانویه این پژوهش نشان داد که تحریک الکتریکی با نویز تصادفی در مقایسه با دو روش دیگر اندازه اثر بزرگ‌تر و به‌تبع آن اثربخشی نسبتاً بهتری را نشان داده است. همچنین بر اساس نتایج این فراتحلیل، مقدار اندازه اثر تحریک الکتریکی

1. Meta-regression

2. مقادیر محدوده ۰/۲ کوچک، محدوده ۰/۵ dطبق این معیار برای شاخص‌های متوسط و محدوده ۰/۸ بزرگ تفسیر میشود.

فراجمجمه‌ای بر عملکرد ریاضی، مقداری متوسط تفسیر می شود. اندازه اثر ترکیبی محاسبه شده برای کارکردهای اجرایی و عملکرد خواندن نیز به ترتیب مقداری متوسط و کوچک تفسیر می‌شود؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که در مطالعات آتی نیز شاهد اثربخشی مناسبی از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر عملکرد ریاضی باشیم.

یکی دیگر از یافته‌های این پژوهش، نتایج حاصل از فرارگرسیون بود که نشان داد در اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی افراد دارای اختلال یادگیری ویژه، سن آزمودنی‌ها نقش تعدیل‌کننده دارد و می‌توان آن را به‌عنوان یکی از پیش‌بینی کننده‌های مدل فرارگرسیون در نظر گرفت. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت میان سن آزمودنی‌ها و اندازه اثرهای حاصل از مطالعات رابطه وجود دارد و با توجه به معکوس بودن این ارتباط، در محدوده سنی آزمودنی‌های این پژوهش و در شرایط یکسان هر اندازه سن آزمودنی‌ها کمتر باشد می‌توان انتظار اندازه اثر بزرگ‌تر و اثربخشی بیشتری داشت.

همسو با یافته‌های این پژوهش، نتایج یک مرور نظام‌مند حاکی از تأثیر مثبت تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر شناخت عددی بود (۶۰). دیگر پژوهش‌ها نیز دارای یافته‌های مشابهی بوده و حاکی از تأثیر تحریکی الکتریکی نویز تصادفی بر مهارت‌های شناختی و حسابی در افراد است (۶۲، ۶۳). همچنین در مطالعات دیگری اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر کارکردهای اجرایی مورد بررسی قرار گرفته است که آنها نیز نتایجی همسو با یافته‌ی پژوهش حاضر ارائه کرده‌اند. در این راستا فراتحلیلی نشان داد تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم بر بهبود کارکردهای اجرایی تأثیر دارد (۶۱). همچنین تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر بهبود استدلال غیرکلامی (۶۴)؛ حافظه کاری (۶۶-۶۹)؛ کارکردهای اجرایی توجه، بازداری، انعطاف‌پذیری و حافظه کاری (۷۰) و بر فرایندهای توجه (۷۱) مورد بررسی قرار گرفته و اثربخشی مناسبی گزارش شده است. از سویی دیگر اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای با جریان مستقیم را بر اختلال خواندن و بهبود مهارت‌های خواندن را نشان داده شده است (۷۷-۷۴).

همچنین اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای دوطرفه فعال را بر بهبود عملکرد خواندن در افراد بهنجار مورد تأیید قرار گرفته است (۷۳).

اگرچه هنوز به‌صورت واضح مشخص نشده است که روش‌های تحریک در سطح عصبی چگونه عمل می‌کنند و مکانیسم زیربنایی پیشنهاد شده بیشتر حدسی است، اما در مورد سازوکارِ تأثیر روش‌های مختلف تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر عملکردهای مغزی تبیین‌های متفاوتی ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به تبیین‌های مبتنی بر مکانیسم‌های عصب فیزیولوژی اشاره کرد. در تمامی روش‌های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای عبور مقادیر نسبتاً کوچک جریان الکتریکی می‌تواند به تغییراتی ماندگار در تحریک‌پذیری قشر مغز منجر شود (۴۰-۴۲). به نظر می‌رسد تحریک با نویز تصادفی، فعالیت عصبی را با تأثیر بر روی کانال‌های سدیم افزایش می‌دهد که ممکن است اثرات طولانی‌مدت این روش را پشتیبانی کند (۴۷، ۴۸). به‌عبارت‌دیگر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی باعث تحریک کانال‌های سدیمی واقع در غشای نورون می شود و با ورود یون‌های سدیم، آستانه تحریک‌پذیری (آستانه پتانسیل عمل) نورون‌ها کاهش می‌یابد و باعث تولید پتانسیل عمل راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر می شود (۴۵، ۴۹). همچنین نظریه دیگری که در زمینه سازوکار تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی می‌توان بیان کرد، این است که این روش باعث رخ دادن پدیده‌ی تشدید تصادفی[1] می‌شود و در ادامه، به دستکاری نوسان‌های نورونی و جمع شدن جریان‌های کوچک دپولاریزه‌کننده در نورون منجر می‌شود و این موضوع موجب نرمال شدن الگوی پاسخ‌های عصبی در سیستم عصبی مرکزی می‌شود و در نهایت به افزایش بهره و کارکرد مفیدتر نورون‌ها در ایجاد پتانسیل عمل کمک می‌کند (۴۴، ۴۵). در خصوص تأثیر تحریک الکتریکی با جریان مستقیم الکتریکی نیز چنین تبیینی از تأثیر آن مطرح است و اعتقاد بر این است که تحریک الکتریکی با جریان مستقیم با تغییر تحریک‌پذیری نورون‌ها و جابجایی پتانسیل غشای نورون‌های سطحی در جهت دپولاریزاسیون یا هایپرپلاریزاسیون، موجب شلیک بیشتر یا کمتر سلول‌های مغز می‌شود. بدین ترتیب در نواحی مورد نظر به افزایش یا کاهش کارکردهای مغزی منجر می‌شود (۴۶).

1. Stochastic resonance

فرض دیگر اشاره به نقش دوپامین و سایر انتقال‌دهنده‌ها و آمین‌اسیدها دارد. بر اساس این فرض افزایش تحریک‌پذیری سطحی در قشر مغز (به‌خصوص قشر پیش پیشانی) موجب افزایش رهاسازی دوپامین می شود که خود ممکن است موجب بهبود عملکردهای شناختی و حل مسئله شود (۵۰). بنابراین تحریک الکتریکی آندی سبب افزایش در سطوح گلوتامات می شود و گلوتامات آمینواسیدی است که در حافظه کاری، بازشناسی حافظه و یادگیری محرک-پاسخ، نقش ایفا می‌کند (۵۱).

همان‌طور که اشاره شد نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که تحریک الکتریکی با نویز تصادفی، اثربخشی بهتری نسبت به دو روش تحریک با جریان مستقیم و جریان متناوب داشته است. در این راستا پژوهش‌های متعددی تأثیرات پایدار رفتاری حاصل از تحریک نویز تصادفی فراجمجمه‌ای را گزارش کرده‌اند (۴۶، ۶۳، ۶۸، ۷۸، ۷۹). یافته‌های برخی پژوهش‌ها نیز حاکی از آن است که تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر شایستگی‌های ریاضی تا ۶ ماه پایدار بوده است (۶۲، ۷۲).

تاکنون پژوهشی که مستقیماً اثرات سلولی و مولکولی تحریک الکتریکی نویز تصادفی را مورد بررسی قرار دهد به انجام نرسیده است، ازاین‌رو به صورت واضح مشخص نیست که چه عواملی اثرات تحریک نویز تصادفی و تحریک مستقیم را از هم متمایز می‌کند. اما بر اساس چارچوب مفهومی رزونانس تصادفی می‌توان گفت که نویز تصادفی به دلیل تقویت سیگنال‌های ضعیف، احتمال بیشتری برای بهینه‌سازی فعالیت‌های خاص مغز داشته باشد (۸۰). از سوی دیگر یکی از عواملی که تصور می‌شود اثربخشی تحریک با جریان مستقیم را محدود می‌کند، فعال شدن مکانیسم‌های عصبی هموستاتیک است که تغییرات مداوم در پتانسیل‌های غشای عصبی ناشی از تحریک جریان مستقیم را خنثی می‌کند. درحالی که تحریک با جریان مستقیم یک جریان الکتریکی مستقیم با شدت ثابت و قطبیت ثابت در هر الکترود ارائه می‌کند، تحریک نویز تصادفی جریان متناوب با فرکانس و شدت نوسان تصادفی را ارائه می‌دهد. بنابراین تحریک نویز تصادفی با ارائه یک میدان الکتریکی نوسان تصادفی که از فعال شدن مکانیسم‌های هموستاتیک جلوگیری می‌کند، می‌تواند اثرات تعدیل‌کننده عصبی واضح‌تر و قابل اعتمادتری را القا کند (۵۹). همچنین بر اساس پژوهش هکرت و همکاران (۶۵) اثربخشی تحریک نویز تصادفی فرکانس بالا در مقایسه با تحریک الکتریکی با جریان مستقیم در مدت زمان کوتاه‌تری حاصل می‌شود. نتایج پژوهش آنها نشان داد که ۷ دقیقه تحریک الکتریکی نویز تصادفی با شدت جریان ۱ میلی‌آمپر از ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی با همین شدت اثربخش‌تر بوده است. علاوه بر این برخی عقیده دارند که نتایج حاصل از تحریک الکتریکی با نویز تصادفی از پایداری بیشتری نسبت سایر روش‌های تحریک الکتریکی برخوردار است. در این زمینه مشاهده شده است که تحریک با نویز تصادفی، تحریک‌پذیری قشر مغز را باثبات‌تر از تحریک مستقیم افزایش می‌دهد (۴۳). در سویی دیگر پائولوس و همکاران (۴۲) عقیده دارند که مزیت اصلی تحریک با نویز تصادفی در مقایسه با تحریک با جریان مستقیم، عدم حساسیت جهت تحریک و آستانه دریافت پوست بالاتر در طول تحریک است.

درباره تأثیر سن آزمودنی‌ها بر میزان اثربخشی و تعدیل‌کنندگی آن نیز می‌توان به نتایج برخی پژوهش‌ها اشاره کرد و تبیین‌هایی ارائه کرد. مطالعه فرتونانی و همکاران (۵۵) شامل دو گروه از بزرگسالان مسن و جوان بود و نتایج حاکی از آن بود که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در گروه بزرگسالان جوان سبب بهبود یادگیری ادراکی دیداری شده است اما این بهبود در گروه بزرگسالان مسن مشاهده نشد. همچنین مطالعاتی که با استفاده از تحریک مغناطیسی فراجمجمه‌ای[1] انجام شده‌اند نشان داده است که تفاوت‌های مربوط به سن در تحریک‌پذیری قشر مغز بر سرعت انتقال سیگنال در مسیرهای حرکتی تأثیر می‌گذارد و پاسخ‌های حرکتی در بزرگسالان مسن کندتر از افراد جوان است (۵۳). اگرچه تغییرات ساختاری و تغییرات وابسته به سن بیشتر به افراد مسن و محدوده سنی بزرگسالان اشاره دارد اما همراه با آن تعادل ناقل‌های عصبی منطقه‌ای نیز تغییر می‌کند و بر پلاستیسته وابسته به تجربه تأثیر می‌گذارد که می‌توان آن را در سنین پایین‌تر از بزرگ سالی نیز مشاهده کرد (۵۴). برای مثال توزیع گیرنده گابا از اوایل کودکی تا اوایل نوجوانی و سپس دوباره در سنین بالاتر تغییر می‌کند (۵۲). در تبیین تأثیر سن بر میزان اثربخشی مداخلات می‌توان از مفهوم پلاستیسیته مغزی نیز بهره برد. در

1. Transcranial magnetic stimulation (TMS)

این خصوص اعتقاد بر این است که پلاستیسیتی یا همان انعطاف‌پذیری مغز در چند سال اول زندگی به حداکثر می‌رسد، اما در طول زندگی با نرخ کاهش یافته ادامه می‌یابد و در قسمت‌های خاصی از مغز در مقایسه با قسمت‌های دیگر بیشتر و در دوره‌های خاصی از زندگی بیشتر از دوره‌های دیگر است. بهبود بهتر کودکان پس از آسیب‌های وارد شده به سر در مقایسه با بزرگسالان، تأییدکننده این موضوع است (۵۷). به‌طورکلی چنین می‌توان گفت که مغز افراد کم‌سن توانایی نوروپلاستیسیتی بیشتری نسبت به مغز بزرگسال دارد. این ویژگی به مغز جوان امکان توسعه مناسب و بدون وقفه را می‌دهد (۵۶).

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه پژوهش‌های اندکی در زمینه اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی بر اختلالات یادگیری ویژه انجام شده است، اما با توجه به اثربخشی مناسبی که برای این مداخلات مشاهده شد می‌توان با رعایت نکات فنی و ایمنی از این روش در درمان و بهبود اختلالات عصبی تحولی و به‌خصوص اختلالات یادگیری ویژه استفاده کرد. همچنین با توجه به اثربخشی بهتر تحریک الکتریکی با نویز تصادفی در مقایسه با سایر روش‌ها (جریان مستقیم و جریان متناوب)، می‌توان از این روش به‌خصوص در درمان افراد دارای اختلال یادگیری ویژه با آسیب ریاضی، بیش از سایرین استفاده کرد. کشاکش‌برانگیزترین موضوع در این زمینه، کاربرد مداخلات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در کودکان است، زیرا کاربرد این روش در سنین پایین‌تر اثربخشی بهتری نسبت به سنین بزرگ‌سالی دارد که در قسمت‌های قبلی تبیین شد، با وجود این کاربرد این روش در کودکان همواره با محدودیت‌هایی مواجه بوده است که به نظر می‌رسد انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه راهگشا باشد.

این پژوهش با محدودیت‌هایی مواجه بود که از جمله آنها می‌توان به عدم گزارش نتایج غیرمعنادار، عدم استفاده از روش گزارش‌نویسی استاندارد، عدم گزارش داده‌های مورد نیاز برای محاسبه اندازه اثر، در دسترس نبودن اطلاعات کامل پروتکل مداخله برای انجام تحلیل‌های ثانویه جهت کشف متغیرهای تعدیل‌کننده اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی در قالب گروه‌های مقایسه، موضوعاتی همچون تأثیر متغیرهای درون پروتکل‌ها، عوارض جانبی، جنسیت، و سن را مورد بررسی قرار دهند.

## ملاحظات اخلاقی

**پیروی از اصول اخلاق پژوهش:** این مقاله برگرفته از رساله دکترای نویسنده یکم آقای سعید محمدی مولود در رشته روان‌شناسی تربیتی دانشگاه تبریز است. مجوز علمی این مطالعه در جلسه شماره ۱۰ گروه علوم تربیتی و طی نامه شماره ۴۱۱۲۹/۱۷ مورخ ۱۴۰۱/۰۸/۱۵ توسط دانشگاه تبریز صادر شد. همچنین این پژوهش دارای شناسه اخلاق IR.TABRIZU.REC.1401.089 صادره از کمیته اخلاق دانشگاه تبریز است.

**حامی مالی:** پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه تبریز انجام شده است.

**نقش هر یک از نویسندگان:** نویسنده نخست این مقاله به‌عنوان پژوهشگر اصلی و مسئول جمع‌آوری داده‌ها؛ نویسنده دوم به‌عنوان استاد راهنما، نویسنده سوم به‌عنوان استاد مشاور، و نویسنده چهارم به‌عنوان استاد راهنمای دوم در این مقاله نقش داشتند.

**تضاد منافع:** انجام این پژوهش برای نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی را به دنبال نداشته است و نتایج آن کاملاً شفاف و بدون سوگیری گزارش شده است.

**تشکر و قدردانی:** بدین‌وسیله از تمامی افرادی که به نحوی در روند اجرای این مطالعه نقش داشتند از جمله نویسندگان مسئول مطالعات اولیه که با ارائه اطلاعات و داده‌های تکمیلی مورد نیاز، انجام این فراتحلیل را تسهیل نمودند تقدیر و تشکر می‌کنیم.

## References


1. Boyle JR, Forchelli GA. Differences in the note-taking skills of students with high achievement, average achievement, and learning disabilities. Learning and Individual Differences. 2014;35:9-14. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.06.002 [Link]
2. Association AP. Diagnostic & statistical manual of mental disorders. Washington APA Publication; 2013. https://www.psychiatry.org/psychiatrists/practice/dsm [Link]
3. Rezaei Azghandi S, Rezaie A, Mohammadifar MA. Critiquing and reviewing mathematics disorder diagnostic tools and methods for diagnosing this disorder in Iran. Journal of educational psychology studies. 2020;17(37):77-98. [Persian] https://doi.org/10.22111/jeps.2020.5251 [Link]
4. Hallahan PD, Kauffman JM, Lloyd WJ, Elizabeth AM, Margaret PW. Learning Disabilities : Foundations, Characteristics, and Effective Teaching 3rd: Allyn & Bacon; 2004. https://www.directtextbook.com/isbn/9780205388677 [Link]
5. Bigler ED, Lajiness-O'Neill R, Howes NL. Technology in the assessment of learning disability. J Learn Disabil. 1998;31(1):67-82. https://doi.org/10.1177/002221949803100107 [Link]
6. Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L. Three parietal circuits for number processing. Cogn Neuropsychol. 2003;20(3):487-506. https://doi.org/10.1080/02643290244000239 [Link]
7. Butterworth B, Varma S, Laurillard D. Dyscalculia: from brain to education. Science. 2011;332(6033):1049-53. https://doi.org/10.1126/science.1201536 [Link]
8. Cantlon JF, Brannon EM, Carter EJ, Pelphrey KA. Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. PLoS Biol. 2006;4(5):e125. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040125 [Link]
9. Ansari D. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. Nat Rev Neurosci. 2008;9(4):278-91. https://doi.org/10.1038/nrn2334 [Link]
10. Rykhlevskaia E, Uddin LQ, Kondos L, Menon V. Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. Front Hum Neurosci. 2009;3:51. https://doi.org/10.3389/neuro.09.051.2009 [Link]
11. Iuculano T, Cohen Kadosh R. Preliminary evidence for performance enhancement following parietal lobe stimulation in Developmental Dyscalculia. Front Hum Neurosci. 2014;8:38. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00038 [Link]
12. Soltanlou M, Dresler T, Artemenko C, Rosenbaum D, Ehlis AC, Nuerk HC. Training causes activation increase in temporo-parietal and parietal regions in children with mathematical disabilities. Brain Struct Funct. 2022;227(5):1757-71. https://doi.org/10.1007/s00429-022-02470-5 [Link]
13. Bulthe J, Prinsen J, Vanderauwera J, Duyck S, Daniels N, Gillebert CR, et al. Multi-method brain imaging reveals impaired representations of number as well as altered connectivity in adults with dyscalculia. Neuroimage. 2019;190:289-302. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.06.012 [Link]
14. Spironelli C, Penolazzi B, Angrilli A. Dysfunctional hemispheric asymmetry of theta and beta EEG activity during linguistic tasks in developmental dyslexia. Biol Psychol. 2008;77(2):123-31. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.09.009 [Link]
15. Lyon GR, Shaywitz SE, Shaywitz BA. A definition of dyslexia. Annals of Dyslexia. 2003;53(1):1-14. https://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9 [Link]
16. Martin A, Schurz M, Kronbichler M, Richlan F. Reading in the brain of children and adults: a meta-analysis of 40 functional magnetic resonance imaging studies. Hum Brain Mapp. 2015;36(5):1963-81. https://doi.org/10.1002/hbm.22749 [Link]
17. Turkeltaub PE, Gareau L, Flowers DL, Zeffiro TA, Eden GF. Development of neural mechanisms for reading. Nat Neurosci. 2003;6(7):767-73. https://doi.org/10.1038/nn1065 [Link]
18. Richlan F. Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network. Front Hum Neurosci. 2012;6:120. https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00120 [Link]
19. Shaywitz SE, Shaywitz BA, Pugh KR, Fulbright RK, Constable RT, Mencl WE, et al. Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. Proc Natl Acad Sci U S A. 1998;95(5):2636-41. https://doi.org/10.1073/pnas.95.5.2636 [Link]
20. Hoeft F, McCandliss BD, Black JM, Gantman A, Zakerani N, Hulme C, et al. Neural systems predicting long-term outcome in dyslexia. Proc Natl Acad Sci U S A. 2011;108(1):361-6. https://doi.org/10.1073/pnas.1008950108 [Link]
21. Nevo E, Breznitz Z. Assessment of working memory components at 6years of age as predictors of reading achievements a year later. J Exp Child Psychol. 2011;109(1):73-90. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.09.010 [Link]
22. Rosselli M, Matute E, Pinto N, Ardila A. Memory abilities in children with subtypes of dyscalculia. Dev Neuropsychol. 2006;30(3):801-18. https://doi.org/10.1207/s15326942dn3003_3 [Link]
23. Masoura E. Establishing the Link Between Working Memory Function and Learning Disabilities. Learning Disabilities: A Contemporary Journal. 2006;4:29-41. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ797674.pdf [Link]
24. Geary DC, Hoard MK, Hamson CO. Numerical and arithmetical cognition: patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. J Exp Child Psychol. 1999;74(3):213-39. https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2515 [Link]

25. Bottge BA, Heinrichs M, Chan S-Y, Serlin RC. Anchoring Adolescents' Understanding of Math Concepts in Rich Problem-Solving Environments. Remedial and Special Education. 2001;22(5):299-314. https://doi.org/10.1177/074193250102200505 [Link]
26. Fletcher JM, Lyon GR, Fuchs LS, Barnes, MA. Learning disabilities: From identification to intervention. New York: Guilford Press; 2007. https://doi.org/10.1177/1087054707305354 [Link]
27. Meltzer L. Executive function in education: From theory to practice. New York: Guilford Press; 2007. https://psycnet.apa.org/record/2007-03950-000 [Link]
28. McCloskey G, Perkins, L., & Divner, B. Assessment and intervention for executive function difficulties. New York: Routledge Press; 2009. https://doi.org/10.4324/9780203893753 [Link]
29. Geary DC. Mathematical Disabilities: Reflections on Cognitive, Neuropsychological, and Genetic Components. Learn Individ Differ. 2010;20(2):130. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.008 [Link]
30. Alloway TP. Working Memory, but Not IQ, Predicts Subsequent Learning in Children with Learning Difficulties. European Journal of Psychological Assessment. 2009;25(2):92-8. https://doi.org/10.1027/1015-5759.25.2.92 [Link]
31. Wang E, Liu C. On working memory in children with mathematics disabilities. Advances in Psychological Science. 2005;13(01):39. https://journal.psych.ac.cn/adps/EN/Y2005/V13/I01/39 [Link]
32. Keshavarz S, Kakavand A. Study of Numerical Processing Speed, Implicit and Explicit Memory, Active and Passive Memory, Conservation Abilities, and Visual-Spatial Skills of Students with Dyscalculia J Child Ment Health 2019;6(2):53-67. [Persian] http://childmentalhealth.ir/article-1-730-en.html [Link]
33. Castaldi E, Piazza M, Iuculano T. Learning disabilities: Developmental dyscalculia. Handb Clin Neurol. 2020;174:61-75. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64148-9.00005-3 [Link]
34. Yousefi E, Faramarzi S, Malek Pour M, Yarmohammadian A. Comparison of the Effect of Executive Functions Training and Barkley's Model on Reading Performance and Academic Self-Concept in Students with Dyslexia. J Child Ment Health. 2020;6(4):51-62. [Persian] http://childmentalhealth.ir/article-1-614-en.html [Link]
35. Freilich R, Shechtman Z. The contribution of art therapy to the social, emotional, and academic adjustment of children with learning disabilities. The Arts in Psychotherapy. 2010;37(2):97-105. https://doi.org/10.1016/j.aip.2010.02.003 [Link]
36. Shahmohamadi M, Entesarfooni G, Hejazi M, Asadzadeh H. The Impact of Cognitive Rehabilitation Training Program on Non-verbal Intelligence, Attention and Concentration, and Academic Performance of Students with Dyscalculia. J Child Ment Health 2019;6(2):93-106. [Persian] http://childmentalhealth.ir/article-1-591-en.html [Link]
37. Krause B, Cohen Kadosh R. Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. Dev Cogn Neurosci. 2013;6:176-94. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.04.001 [Link]
38. Jacobson L, Ezra A, Berger U, Lavidor M. Modulating oscillatory brain activity correlates of behavioral inhibition using transcranial direct current stimulation. Clin Neurophysiol. 2012;123(5):979-84. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.09.016 [Link]
39. Fregni F, Boggio PS, Lima MC, Ferreira MJ, Wagner T, Rigonatti SP, et al. A sham-controlled, phase II trial of transcranial direct current stimulation for the treatment of central pain in traumatic spinal cord injury. Pain. 2006;122(1-2):197-209. https://doi.org/10.1016/j.pain.2006.02.023 [Link]
40. Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. The Action of Brief Polarizing Currents on the Cerebral Cortex of the Rat (1) during Current Flow and (2) in the Production of Long-Lasting after-Effects. J Physiol. 1964;172(3):369-82. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1964.sp007425 [Link]
41. Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. J Physiol. 2000;527 Pt 3(Pt 3):633-9. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x [Link]
42. Paulus W, Antal A, Nitsche MA. 4 Physiological Basis and Methodological Aspects of Transcranial. Transcranial brain stimulation. 2012:93. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=IgTSBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA93&dq=Paulus,+W.,+Antal,+A.,+%26+Nitsche,+M.+A.+(2012).&ots=SEKa_KAPdV&sig=fGPoOv89iasa2zCfUVHjJZrs3hw#v=onepage&q&f=false [Link]
43. Inukai Y, Saito K, Sasaki R, Tsuiki S, Miyaguchi S, Kojima S, et al. Comparison of Three Non-Invasive Transcranial Electrical Stimulation Methods for Increasing Cortical Excitability. Front Hum Neurosci. 2016;10:668. https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00668 [Link]
44. Brunoni AR, Moffa AH, Fregni F, Palm U, Padberg F, Blumberger DM, et al. Transcranial direct current stimulation for acute major depressive episodes: meta-analysis of individual patient data. Br J Psychiatry. 2016;208(6):522-31. https://doi.org/10.1192/bjp.bp.115.164715 [Link]
45. Chaieb L, Kovacs G, Cziraki C, Greenlee M, Paulus W, Antal A. Short-duration transcranial random noise stimulation induces blood oxygenation level dependent response attenuation in the human motor cortex. Exp Brain Res. 2009;198(4):439-44. https://doi.org/10.1007/s00221-009-1938-7 [Link]
46. Nitsche MA, Lampe C, Antal A, Liebetanz D, Lang N, Tergau F, et al. Dopaminergic modulation of long-lasting direct current-induced cortical excitability changes in the

human motor cortex. Eur J Neurosci. 2006;23(6):1651-7. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04676.x [Link]
47. Terney D, Chaieb L, Moliadze V, Antal A, Paulus W. Increasing human brain excitability by transcranial high-frequency random noise stimulation. J Neurosci. 2008;28(52):14147-55. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4248-08.2008 [Link]
48. Paulus W. Transcranial electrical stimulation (tES - tDCS; tRNS, tACS) methods. Neuropsychol Rehabil. 2011;21(5): 602-17. https://doi.org/10.1080/09602011.2011.557292 [Link]
49. Antal A, Herrmann CS. Transcranial Alternating Current and Random Noise Stimulation: Possible Mechanisms. Neural Plast. 2016;2016:3616807. https://doi.org/10.1155/2016/3616807 [Link]
50. Aghajani S, Taheri fard M, Alizadeh Goradel J. The effectiveness of Transcendental Direct Electric Stimulation (TDCS) on improving cognitive functions and problem solving skills of students. Journal of School Psychology. 2019;7(4):20-38. [Persian] https://doi.org/10.22098/jsp.2019.745 [Link]
51. Oliveira JF, Zanao TA, Valiengo L, Lotufo PA, Bensenor IM, Fregni F, et al. Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. Neurosci Lett. 2013;537:60-4. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.01.023 [Link]
52. Pinto JG, Hornby KR, Jones DG, Murphy KM. Developmental changes in GABAergic mechanisms in human visual cortex across the lifespan. Front Cell Neurosci. 2010;4:16. https://doi.org/10.3389/fncel.2010.00016 [Link]
53. Smith AE, Ridding MC, Higgins RD, Wittert GA, Pitcher JB. Age-related changes in short-latency motor cortex inhibition. Exp Brain Res. 2009;198(4):489-500. https://doi.org10.1007/s00221-009-1945-8 / [Link]
54. Hess G, Donoghue JP. Long-term depression of horizontal connections in rat motor cortex. Eur J Neurosci. 1996;8(4):658-65. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.1996.tb01251.x [Link]
55. Fertonani A, Pirulli C, Bollini A, Miniussi C, Bortoletto M. Age-related changes in cortical connectivity influence the neuromodulatory effects of transcranial electrical stimulation. Neurobiol Aging. 2019;82:77-87. https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.07.009 [Link]
56. Ismail FY, Fatemi A, Johnston MV. Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain. Eur J Paediatr Neurol. 2017;21(1):23-48. https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.007 [Link]
57. Mundkur N. Neuroplasticity in children. Indian J Pediatr. 2005;72(10):855-7. https://doi.org/10.1007/BF02731115 [Link]
58. Clark VP, Coffman BA, Trumbo MC, Gasparovic C. Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a (1)H magnetic resonance spectroscopy study. Neurosci Lett. 2011;500(1):67-71. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.05.244 [Link]
59. Murphy OW, Hoy KE, Wong D, Bailey NW, Fitzgerald PB, Segrave RA. Transcranial random noise stimulation is more effective than transcranial direct current stimulation for enhancing working memory in healthy individuals: Behavioural and electrophysiological evidence. Brain Stimul. 2020;13(5):1370-80. https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.07.001 [Link]
60. Lazzaro G, Fuca E, Caciolo C, Battisti A, Costanzo F, Varuzza C, et al. Understanding the Effects of Transcranial Electrical Stimulation in Numerical Cognition: A Systematic Review for Clinical Translation. J Clin Med. 2022;11(8). https://doi.org/10.3390/jcm11082082 [Link]
61. Imburgio MJ, Orr JM. Effects of prefrontal tDCS on executive function: Methodological considerations revealed by meta-analysis. Neuropsychologia. 2018;117:156-66. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.022 [Link]
62. Snowball A, Tachtsidis I, Popescu T, Thompson J, Delazer M, Zamarian L, et al. Long-term enhancement of brain function and cognition using cognitive training and brain stimulation. Curr Biol. 2013;23(11):987-92. https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.045 [Link]
63. Pasqualotto A. Transcranial random noise stimulation benefits arithmetic skills. Neurobiol Learn Mem. 2016;133:7-12. https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.05.004 [Link]
64. Makkar M, Arumugam N, Midha D, Sandhu A. Transcranial Direct Current Stimulation as an Effective Treatment Compared to Video Games on Executive Functions in Children With Attention Deficit Hyperactivity Disorder. Iranian Rehabilitation Journal. 2022;20(2):199-208. https://doi.org/10.32598/irj.20.2.1552.1 [Link]
65. Haeckert J, Lasser C, Pross B, Hasan A, Strube W. Comparative study of motor cortical excitability changes following anodal tDCS or high-frequency tRNS in relation to stimulation duration. Physiol Rep. 2020;8(19):e14595. https://doi.org/10.14814/phy2.14595 [Link]
66. Wang J, Tian J, Hao R, Tian L, Liu Q. Transcranial direct current stimulation over the right DLPFC selectively modulates subprocesses in working memory. PeerJ. 2018;6:e4906. https://doi.org/10.7717/peerj.4906 [Link]
67. Berryhill ME, Wencil EB, Branch Coslett H, Olson IR. A selective working memory impairment after transcranial direct current stimulation to the right parietal lobe. Neurosci Lett. 2010;479(3):312-6. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.05.087 [Link]
68. Dockery CA, Hueckel-Weng R, Birbaumer N, Plewnia C. Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. J Neurosci. 2009;29(22):7271-7. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0065-09.2009 [Link]
69. Mulquiney PG, Hoy KE, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal

cortex. Clin Neurophysiol. 2011;122(12):2384-9. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.05.009 [Link]
70. Nozari M, Nejati V, Mirzaian B. Effectiveness of Transcranial direct current stimulation on executive functions and amelioration of symptoms of individuals with Major Depression Disorder. Journal of Applied Psychology. 2020;13(4):577-99. [Persian] https://doi.org/10.29252/apsy.13.4.577 [Link]
71. Gladwin TE, den Uyl TE, Fregni FF, Wiers RW. Enhancement of selective attention by tDCS: interaction with interference in a Sternberg task. Neurosci Lett. 2012; 512(1):33-7. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.01.056 [Link]
72. Cohen Kadosh R, Soskic S, Iuculano T, Kanai R, Walsh V. Modulating neuronal activity produces specific and long-lasting changes in numerical competence. Curr Biol. 2010;20(22):2016-20. https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.007 [Link]
73. Bertoni S, Franceschini S, Campana G, Facoetti A. The effects of bilateral posterior parietal cortex tRNS on reading performance. Cereb Cortex. 2023;33(9):5538-46. https://doi.org/10.1093/cercor/bhac440 [Link]
74. Rios DM, Correia Rios M, Bandeira ID, Queiros Campbell F, de Carvalho Vaz D, Lucena R. Impact of Transcranial Direct Current Stimulation on Reading Skills of Children and Adolescents With Dyslexia. Child Neurol Open. 2018;5:2329048X18798255. https://doi.org/10.1177/2329048X18798255 [Link]
75. Thomson JM, Doruk D, Mascio B, Fregni F, Cerruti C. Transcranial direct current stimulation modulates efficiency of reading processes. Front Hum Neurosci. 2015;9:114. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00114 [Link]
76. Heth I, Lavidor M. Improved reading measures in adults with dyslexia following transcranial direct current stimulation treatment. Neuropsychologia. 2015;70:107-13. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.022 [Link]
77. Turkeltaub PE, Benson J, Hamilton RH, Datta A, Bikson M, Coslett HB. Left lateralizing transcranial direct current stimulation improves reading efficiency. Brain Stimul. 2012;5(3):201-7. https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.04.002 [Link]
78. Cappelletti M, Gessaroli E, Hithersay R, Mitolo M, Didino D, Kanai R, et al. Transfer of cognitive training across magnitude dimensions achieved with concurrent brain stimulation of the parietal lobe. J Neurosci. 2013;33(37):14899-907. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1692-13.2013 [Link]
79. Jones KT, Gozenman F, Berryhill ME. Enhanced long-term memory encoding after parietal neurostimulation. Exp Brain Res. 2014;232(12):4043-54. https://doi.org/10.1007/s00221-014-4090-y [Link]
80. Prichard G, Weiller C, Fritsch B, Reis J. Effects of different electrical brain stimulation protocols on subcomponents of motor skill learning. Brain Stimul. 2014;7(4):532-40. https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.04.005 [Link]
81. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences1988. https://doi.org/10.4324/9780203771587 [Link]
82. Kelly S. Qualitative interviewing techniques and styles. In: Bourgeault I, Dingwall R, de Vries R. (eds) The Sage Handbook of Qualitative Methods in Health Research. Thousand Oaks: Sage Publications; 2010. https://searchworks.stanford.edu/view/11350022 [Link]
83. Tabandeh Saravi N. Investigating the effectiveness of Transcranial direct current stimulation (tDCS) over different cortex regions involved with reading in children and adolescence with Dyslexia. Tehran, Iran: Institute for Cognitive Science Studies; 2020. https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/8f3794afb3af017a8078a177a349c099?sample=1 [Link]
84. Costanzo F, Varuzza C, Rossi S, Sdoia S, Varvara P, Oliveri M, et al. Evidence for reading improvement following tDCS treatment in children and adolescents with Dyslexia. Restor Neurol Neurosci. 2016;34(2):215-26. https://doi.org/10.3233/RNN-150561 [Link]
85. Rufener KS, Krauel K, Meyer M, Heinze HJ, Zaehle T. Transcranial electrical stimulation improves phoneme processing in developmental dyslexia. Brain Stimul. 2019;12(4):930-7. https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.02.007 [Link]
86. Looi CY, Lim J, Sella F, Lolliot S, Duta M, Avramenko AA, et al. Transcranial random noise stimulation and cognitive training to improve learning and cognition of the atypically developing brain: A pilot study. Sci Rep. 2017;7(1):4633. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04649-x [Link]
87. Hauser TU, Rotzer S, Grabner RH, Merillat S, Jancke L. Enhancing performance in numerical magnitude processing and mental arithmetic using transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). Front Hum Neurosci. 2013;7:244. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00244 [Link]
88. Vaghef L, Ghaisary Sh, Zahedi M. The effect of transcranial alternatng current stimulaton (TACS) on attention n students with specal learning disorder: semi-experimental study. Studies in medical science (the journal of Urmia University of medical science). 2019;30(2):106-15. [Persian] https://sid.ir/paper/965742/en [Link]
89. Arjmandnia AA, Asbaghi M, Afrooz GH, Rahmanian M. The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on improving working memory performance in children with mathematical disorder. Journal of learning disabilities. 2016;6(1):7-25. [Persian] https://sid.ir/paper/210158/en [Link]
90. Bayat Mokhtari L, Agha Yousefi AR, Zare H, Nejati V. The considering of the impact of transcranial direct current stimulation (TDCS) and phonological awareness training on improvement of the visual aspect function of the working memory in children with dyslexia. Journal of neuropsychology. 2017;3(2):50-67. [Persian] https://sid.ir/paper/266871/en [Link]

91. Bayat Mokhtari L, Agha Yousefi AR, Zare H, Nejati V. The Impact of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) and Phonological Awareness Training on the Auditory Function of Working Memory in Children with Dyslexia. . Journal of Exceptional Children. 2018;17(4):37-48. [Persian] http://joec.ir/article-1-523-en.html [Link]
92. Bagheri M, Moradi A, Peyman HA. Bilingualism, Dyslexia, Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), Computational cognitive rehabilitation, Speed of processing, working memory. Journal of cognitive psychology. 2019;6(4):25-34. [Persian] https://sid.ir/paper/366732/en [Link]
93. Moslemi B, Azmodeh M, Tabatabaei SM, Alivandi Vafa M. The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and visual-auditory working memory in children with dyslexia. JOEC. 2021;20(4):93-104. [Persian] http://joec.ir/article-1-1133-en.html [Link]
94. Ahmadi A, Masomi F, Mardani, LS. The Effect of Transcranial Magnetic Stimulation of Brain over Selective Attention and Continuous Function of Children Suffering from Specific Learning Disability Disorder. Journal of Exceptional Children. 2022;22(2):37-44. [Persian] http://joec.ir/article-1-1424-en.html [Link]
95. Rooholamini SH, Soleymani M, Vafegh L. Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on Executive Functions (selective attention and flexibility) in Students with Dyslexia. Journal of learning disabilities. 2018;8(1):23-41. [Persian] https://sid.ir/paper/210143/en [Link]
96. Arefanian P, Saedmanesh M, Azizi M. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on Executive Functions of Children with Learning Disabilities. Scientifc journal of rehabilitatn medicine. 2021;9(4):91-101. [Persian] https://sid.ir/paper/389605/en [Link]
97. Rajaie pour MS, Saeidmanesh M. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS) from the Skull on Memory Students with Especially Learning Disorders. Neuropsychology. 2018;4(13):67-84. [Persian] https://clpsy.journals.pnu.ac.ir/article_5383.html?lang=en [Link]
98. Nosrat A, Shahabizadeh F, Hormozi MR, Ahi Q. The effectiveness of direct brain stimulation on tDCS combined with mindfulness training on executive functions and depression in children with reading disorders. medical journal of mashhad university of medical sciences. 2022;65(1):399-430. [Persian] https://doi.org/10.22038/mjms.2022.64285.3776 [Link]
99. Zemestani M, Izadpanah E, Solaimany S. Comparison of the effectiveness of two methods of two methods of transcranial direct current stimulation (T-DCS) and play therapy on attention and psycho-motor function of children with learning disabilities: a semi-experimental design. Studies in Medical Sciences. 2019;30(3):174-86. [Persian] http://umj.umsu.ac.ir/article-1-4538-en.html [Link]
100. Khaheshi S. he effect of direct current (tDCS ) and alternating ( tACS )current stimulation on cognitive function in student with learning disorder. Tabriz, Iran: Azarbaijan Shahid Madani University; 2018. [Persian] https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/00175874ded6d0373d11ff5e537e2cae [Link]
101. Rahimi M, Heidari A, Naderi F, Makvandi B, Bakhtiyarpour S. Comparison of Cognitive Training Method and Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on the Visual Attention Processes in the Students with Special Learning Disorders. International Journal of Behavioral Sciences. 2019;12(4):162-8. [Persian] https://www.behavsci.ir/article_88128.html [Link]
102. Fahimnia M. The effect of transcranial direct current stimulation of brain (TDCS) on working memory and attention control in students with dyslexia. Karaj, Iran: Kharazmi niversity; 2018. [Persian] https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/ec4c1e98364c9a1090e2ec6ecbbf1ba7 [Link]
103. Sterne JAC, Harbord RM. Funnel Plots in Meta-analysis. The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata. 2004;4(2):127-41. https://doi.org/10.1177/1536867x0400400204 [Link]
104. Orwin RG. A Fail-SafeN for Effect Size in Meta-Analysis. Journal of Educational Statistics. 1983;8(2):157-9. https://doi.org/10.3102/10769986008002157 [Link]
105. Rosenthal R. The file drawer problem and tolerance for null results. Psychological Bulletin. 1979;86(3):638-41. https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638 [Link]
106. Hedges LV, Vevea JL. Fixed- and random-effects models in meta-analysis. Psychological Methods. 1998;3(4):486-504. https://doi.org/10.1037/1082-989x.3.4.486 [Link]
107. Ioannidis JP, Patsopoulos NA, Evangelou E. Uncertainty in heterogeneity estimates in meta-analyses. BMJ. 2007;335(7626):914-6. https://doi.org/10.1136/bmj.39343.408449.80 [Link]
108. Cochran WG. The Combination of Estimates from Different Experiments. Biometrics. 1954;10(1). https://doi.org/10.2307/3001666 [Link]
109. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. BMJ. 2003;327(7414):557-60. https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557 [Link]