

## ORIGINAL ARTICLE

# Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility, Problem-Solving and Brain Processing Speed in students

Mahdieh Rahmanian<sup>1</sup>, Elham Lobnia<sup>2</sup>

1. Associate professor, of psychology, Payame Noor, University, Tehran, Iran

2. Master of psychology, Department of psychology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Correspondence:

Elham Lobnia

Email: [e\\_lobnia@yahoo.com](mailto:e_lobnia@yahoo.com)

Received: 05/May/2023

Accepted: 03/Oct/2023

### How to cite:

Rahmanian, M., & Lobnia, E. (2024). Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility, Problem Solving and Brain Processing Speed in Students. *Neuropsychology*, 9(35), 75 - 88. doi: 10.30473/clpsy.2024.71218.1744

### ABSTRACT

Overcoming problems and solving them, and maintaining mental and physical health in life, are very important. By improving cognitive abilities and increasing the processing speed of the mind, it is possible to improve the quality and health of life throughout life. The main goal of this research is to investigate the effect of transcranial direct current electrical stimulation (tDCS) on cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed in students. This research was conducted as a semi-experimental design with a pre-test and post-test and a one-month follow-up phase. In this research, 30 people were selected as a sample using the purposeful sampling method and they were randomly divided into two experimental and control groups. The tDCS test group was subjected to electrical stimulation for two weeks and in 10 sessions, with a current intensity of 2 milliamps and for 20 minutes. At first, after finishing the stimulation program, and also one month later, tests of cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed were taken from both groups and the results were analyzed using a covariance test with repeated measurements. Based on the obtained results, it was observed that the difference between the groups is significant and indicates a positive and significant effect of intracranial direct current stimulation on cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed. Also, according to the one-month follow-up phase, the mentioned effects are stable.

### KEYWORDS

tDCS, cognitive flexibility, problem-solving, brain processing speed



«مقاله پژوهشی»

## اثربخشی تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان

مهديه رحمانیان<sup>۱</sup>، الهام لبنیا<sup>۲</sup>

- دانشیار گروه روانشناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
- کارشناسی ارشد روانشناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

نویسنده مسئول:

الهام لبنیا

رایانامه: e\_lobnia@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵

استناد به این مقاله:

رحمانیان، مهديه، و لبنیا، الهام. (۱۴۰۲). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان. *عصب روان‌شناسی*، ۹(۳۵)، ۷۵-۸۸

doi:

10.30473/clpsy.2024.71218.1744

### چکیده

غلبه بر مشکلات و راه‌حل دادن به آن‌ها، و حفظ سلامت روانی و جسمی در زندگی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با ارتقاء توانایی‌های شناختی و افزایش سرعت پردازش ذهن، می‌توان کیفیت و سلامت زندگی را در طول عمر بهبود بخشید. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان است. این پژوهش به صورت طرح نیمه آزمایشی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون و مرحله پیگیری یک‌ماهه انجام شد. در این پژوهش، ۳۰ نفر به‌عنوان نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و به صورت تصادفی ساده در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. گروه آزمایش tDCS در طی دو هفته و در ۱۰ جلسه، با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه، تحت تحریک الکتریکی قرار گرفتند. در ابتدا، پس از اتمام برنامه تحریک، و همچنین یک ماه پس از آن، آزمون‌های انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز از هر دو گروه گرفته شد و نتایج با استفاده از آزمون کوواریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر تحلیل شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشاهده شد که تفاوت بین گروه‌ها معنادار بوده و نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز است. همچنین، با توجه به مرحله پیگیری یک‌ماهه، تأثیرات مذکور دارای پایداری هستند.

### واژه‌های کلیدی

تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای، انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله، سرعت پردازش



## مقدمه

نظریه گانیه<sup>۱۰</sup> مهارت حل مسئله، اجتناب‌ناپذیر و بالاترین سطح یادگیری است و مستلزم تلاش، اراده، خلاقیت و توانایی نرفتن از راه مستقیم همیشگی است (داکری، ونگ، بیربامر و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۹). حل مسئله، تفکر و ایجاد اقداماتی واسطه‌ای برای رسیدن به یک هدف در زمان نبود پاسخ است (ویتلی<sup>۱۲</sup>، ۱۹۸۴). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که در هنگام حل مسئله افزایش فعالیت در قسمت پیشانی کورتکس مشاهده شده است (دی برناردی لوفت، زیوگا، بانسی و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۷).

بیش از یک قرن است که روان‌شناسان از بررسی زمان واکنش به عنوان پنجره‌ای به مشاهده مغز استفاده کرده‌اند. مدت‌زمان دریافت، درک و پاسخ به اطلاعات دریافتی توسط مغز سرعت واکنش مغز به محرک‌های دریافت شده از دستگاه‌های دیداری، شنیداری، کلامی و حرکتی بدن را سرعت پردازش مغز گویند (وونگ، لیو، لی و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۲۱). هرچه ارتباطات مغز بیشتر باشد، سرعت حرکت سیگنال‌های مغز بالاتر و سرعت پردازش در آن نیز بالاتر است (نرماشیری، اشرفی، رستمی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از روش‌های مطالعه‌ی مغز و تغییر در سیگنال و فعالیت آن که در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته؛ استفاده از تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (tDCS)<sup>۱۵</sup> است. در این روش با استفاده از دو الکترود آند و کاتد جریان الکتریکی ضعیفی، حداکثر تا ۲ میلی‌آمپر، قشر مغز را تحریک می‌کند. دو الکترود مثبت و منفی از طریق پد اسفنجی آغشته به محلول رسانا بر روی سر قرار می‌گیرد و جریان الکتریکی را با عبور از پوست سر و جمجمه به قشر مغز می‌رساند و موجب قطبی شدن نورون‌ها شده و فعالیت آن ناحیه را تغییر می‌دهد. در تحریک مثبت (آندال)<sup>۱۶</sup> تحریک‌پذیری عصبی افزایش و در تحریک منفی (کاتال)<sup>۱۷</sup> تحریک‌پذیری عصبی کاهش می‌یابد. پژوهش‌ها

برخورداری از سلامت روان و ارتقای آن امری ضروری است؛ زیرا فردی با روان سالم، از نظر شغلی و اجتماعی سازنده است، در زندگی دارای آرامش کامل و امنیت درونی است و توانایی مقابله با تنش‌های روزمره زندگی را دارد (منسون، پریس و بسرا<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲). مؤلفه‌های بسیاری در وجود سلامت روان می‌تواند تأثیرگذار باشد. از مهم‌ترین این مؤلفه‌ها کارکردهای اجرایی<sup>۲</sup> که جزو کارکردهای شناختی انسان است که شامل حافظه کاری، تفکر انعطاف‌پذیر، خودکنترلی، درک دیدگاه‌های مختلف، تنظیم احساسات، اعمال خود نظارتی، توجه، سازمان‌دهی، برنامه‌ریزی شروع کارها و تمرکز روی آن‌ها تا تکمیل مرحله می‌شود (ای بوستون<sup>۳</sup>، ۲۰۲۳). کارکرد اجرایی نوعی فراتفکر است و مغز برای عملکرد مناسب نیاز به یک سیستم اجرایی دارد که بیشتر لوب پیشانی<sup>۴</sup> را درگیر می‌سازد (مزاکاپا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶). از مهم‌ترین فرایندهای شناختی این سیستم می‌توان به انعطاف‌پذیری شناختی<sup>۶</sup> و قدرت حل مسئله<sup>۷</sup> اشاره کرد. انعطاف‌پذیری شناختی به معنای توانایی تغییر تفکر برای تطبیق با موقعیت‌های جدید است. (چن، لی کو، هانگ<sup>۸</sup>، ۲۰۲۲). افراد با انعطاف‌پذیری شناختی بالا توانایی ارتباط بین موقعیت‌ها و متغیرهای مختلف را دارند. آن‌ها در پیشامدهای غیرمنتظره مانند تغییر برنامه در آخرین لحظه، اتفاق ناگوار ناگهانی، رفتن به مکان‌های جدید، تغییر شغل و ... به‌خوبی خود را با شرایط تطبیق می‌دهند (تیموریور و محمودی، ۱۳۹۴). بر اساس پژوهش‌هایی که انجام گرفته است، رابطه‌ی مثبت و معناداری بین انعطاف‌پذیری شناختی و سلامت روان وجود دارد (منسون، پریس، رودریگو. ۲۰۲۲) و همچنین شواهدی مبنی بر تأثیر مثبت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر انعطاف‌پذیری شناختی نشان داده شده است (سویاتا، آکسو، وودز و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۹). بر اساس

10. Robert Gagne

11. Dockery, Weng, Birbaumer et al

12. Wheatley

13. Di Bernardi, Luft, Zioga Banissy et al

14. Wong, Liu, Lee et al

15. Transcranial Direct Current Stimulation

16. anodal

17. catodal

1. Monsoon, Preece and Becerra

2. Executive function

3. Boston

4. Frontal lobe

5. Mezzacappa

6. Cognitive flexibility

7. Problem solving

8. Chen, LiQu, Hong

9. Soyata, Aksu, Woods et al

از این جنبه نگرش جدیدی به حل مسائل و بهبود عملکرد مغزی دارند، اساساً برای توسعه جوامع سالم و پویا اساسی محسوب می‌شوند (استرند، کواسیک، فانتوویچ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲).

با توجه به ارتباطی که مؤلفه‌های انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز با سلامت روان دارند و پژوهش‌هایی که پیرامون توانایی تأثیر tDCS به‌عنوان ابزار نوروسایکولوژی در برخی کارکردهای شناختی انجام شده است؛ هدف پژوهش حاضر این است که تأثیرگذاری tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز را ارزیابی کند.

### روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع نیمه آزمایشی پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل و مرحله پیگیری با فاصله یک ماه است. در این پژوهش ۳۰ نفر از دانشجویان ۲۰ تا ۳۰ سال دانشگاه پیام نور تهران جنوب به‌صورت نمونه‌گیری هدفمند به‌عنوان نمونه انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شش‌م قرار گرفتند. ملاک‌های ورود به پژوهش: دامنه سنی ۲۰-۳۰ سال و سلامت جسمانی و روانی بود. ملاک‌های خروج از پژوهش: سابقه صرع و تشنج، وجود هرگونه شیء فلزی در بدن و ابتلا به بیماری‌های جسمانی و اختلالات روانی بود.

### آزمون دسته بندی کارت های ویسکانسین (WCST)

گرانته و برگ آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (wcst) را برای اولین بار در سال ۱۸۴۲ به‌منظور مطالعه رفتار انتزاعی و تغییر مجموعه تهیه کردند. این آزمون یک آزمون استدلال شناختی است و درمجموع کارکردهای اجرایی را ارزیابی می‌کند که شامل حافظه فعال، انعطاف‌پذیری شناختی و کنترل بازداری می‌شود. در این پژوهش از نرم‌افزار دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین موسسه تحقیقات علوم رفتاری شناختی سینا استفاده شد در

نشان دادند که tDCS در کارکردهای شناختی می‌تواند تأثیرگذار باشد و آن‌ها را افزایش دهد. زمانی و دوستان (۱۳۹۶)، در پژوهش خود باهدف بررسی تأثیر tDCS بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار نشان دادند که tDCS می‌تواند موجب بهبود حافظه کاری و کاهش زمان واکنش شود. جهانی، ناصحی، تهرانی دوست و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهشی که در ۳۲ فرد مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس (MS) انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که توجه پایدار و سرعت پردازش در گروه آزمایش در اثر تحریک افزایش یافته است. مهرولی، آتش‌افروز و امیدیان (۱۴۰۲)، بر اساس پژوهشی که بر روی کودکان دارای اختلال یادگیری خاص به‌منظور مقایسه تأثیر دو روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی-حرکتی بر انعطاف‌پذیری شناختی انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که روش tDCS تأثیر بیشتری بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی دارد. واله، باجو و آریزا (۲۰۲۰)، در پژوهشی نقش DLPFC را در تعدیل دسترسی به حافظه و استدلال قیاسی بررسی کرد. نیمی از شرکت‌کنندگان که تحریک کاتدی tDCS بر DLPFC راست را دریافت کرده بودند قدرت استدلال قیاسی آن‌ها افزایش یافته بود. موضوع پژوهش سالوی، بیمن، بیکسون و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰)، تأثیر تحریک tDCS لوب گیجگاهی قدامی راست در حل مسئله بود. نتایج نشان داد که افراد در حین و بعد از دریافت تحریک در این ناحیه بهبود در توانایی حل مسئله را نشان می‌دهند. بررسی‌های پیشین نشان داده که عدم انجام مراحل پیگیری پس از تحریک tDCS، ممکن است باعث ناپایداری و عدم قطعیت در نتایج گردد؛ بنابراین، طراحی و اجرای پژوهش‌هایی که به‌طور جامع و نوآورانه به اعمال تحریک tDCS و مراحل پیگیری پس از آن می‌پردازند، می‌تواند به تعمیق درک از اثرات این تکنیک و بهبود عملکرد شناختی و سلامت روانی افراد کمک کند (راینهارت، کازمن، فوکودا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). درنتیجه، مطالعاتی که

تصویر الگو وجود دارد که حداقل تعداد حرکت مجاز برای هر کدام مشخص شده است. براساس نظر شالیس توانایی حل مسئله با توجه به تعداد حرکت آزمودنی برای رسیدن به الگوی مربوطه مشخص می‌شود. هرچه تعداد حرکت بیشتر باشد توانایی و مهارت فرد در حل مسئله کمتر خواهد بود. میزان زمان ثبت شده برای طراحی قبل از شروع حرکت و در حین آن نیز مهم است و هر چه میزان آن کمتر باشد، توانایی حل مسئله در فرد بالاتر است. در این پژوهش از نسخه نرم‌افزاری آزمون برج لندن موسسه پژوهشی روانشناسی شناختی سینا استفاده شد در این آزمون آزمودنی می‌بایست با حرکت دادن و جابجایی مهره‌ها تصویر را مانند تصویر نمونه یکسان‌سازی کند با این قانون که فقط مهره‌های بالایی را می‌توان جابجا کرد ۱۲ تصویر و مرحله وجود دارد که هر مرحله تعداد حرکت مجاز دارد و آزمودنی اگر بیشتر از حد مجاز مهره‌ها را حرکت دهد تا سه بار می‌تواند تلاش کند پایایی این آزمون موردقبول و ۰.۷۹ گزارش شده است.

### آزمون زمان واکنش

به‌منظور ارزیابی و سنجش سرعت پردازش مغز با توجه به مقالات از سنجش زمان واکنش استفاده می‌شود. در این پژوهش برای سنجش زمان واکنش از نرم‌افزار زمان سنج واکنش موسسه تحقیقاتی سینا استفاده شد به‌طور معمول زمان واکنش سه شیوه مختلف اندازه‌گیری دارد ۱ زمان واکنش ساده پاسخ و عکس‌العمل نسبت به یک محرک ساده دیداری یا شنیداری ۲ زمان واکنش تشخیصی پاسخ به یک محرک دیداری یا شنیداری مدنظر از بین دو محرک زمان واکنش انتخابی پاسخ به یک محرک با دست یا پای راست یا چپ و پاسخ به آن یکی محرک با دست یا پای دیگر در این پژوهش به‌منظور سنجش سرعت پردازش هر سه نوع زمان واکنش با هر دو محرک دیداری و شنیداری سنجیده شد بدین صورت که در واکنش ساده دیداری با ارائه محرک دایره سفید در صفحه لپ‌تاپ آزمودنی به‌محض دیدن محرک پاسخ می‌داد و در واکنش ساده شنیداری به‌محض شنیدن صوت ۲۵۰ هرتز باید عکس‌العمل نشان می‌داد و دکمه را می‌زد و همچنین در واکنش تشخیصی

این آزمون ۶۴ کارت که روی آن تعداد ۱ تا ۴ و یکی از اشکال مثلث، ستاره، به‌علاوه و دایره به رنگ قرمز، سبز، زرد و آبی وجود دارد که هر مرتبه یکی از کارت‌ها در پایین صفحه به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید با پیدا کردن اصل طبقه‌بندی طبق رنگ، شکل و تعداد کارت نشان داده شده را به یکی از چهار کارت اصلی بالای صفحه که شامل یک مثلث قرمز، دو ستاره سبز، سه به‌علاوه زرد و چهار دایره آبی هستند ارتباط دهد، بعد از هر پاسخ برای هر کارت آزمودنی بازخورد درست یا نادرست را از نرم‌افزار دریافت می‌کند و بر این اساس باید الگوی موردنظر را پس از هر پاسخ بیابد هیچ کاردی تکراری نیست بعد از تعداد کافی پاسخ درست الگو تغییر می‌کند بدون اینکه آزمودنی از آن آگاه باشد و خود باید متوجه آن بشود دو نمره اصلی در این آزمون تعداد طبقات درست و تعداد خطاهای در جاماندگی است.

میزان روایی این آزمون را برای سنجش نقایص شناختی در پی آسیب‌های مغزی ۰.۸۶ گزارش کرده است و ضریب توافق میان ارزیابی‌کنندگان در پژوهش استراس و اسپیرمن ۰.۸۳، ۱۹۹۱، به‌دست آمده و به عقیده کوب ۲۰۱۹ آزمون ویسکانسین کاملاً قابل اعتماد بوده و برای ارزیابی عصب روان‌شناختی مطلوب است. ضریب آلفای کرونباخ تعداد طبقات درست ۰.۷۳ و تعداد خطاهای در جاماندگی ۰.۷۴ و ضریب دو نیم آزمون به ترتیب ۰.۸۳ و ۰.۸۷ گزارش شده و روایی افتراقی نسخه کامپیوتری آن برای تفکیک افراد سالم از مضطرب تأیید شده است.

### آزمون برج لندن

آزمون برج لندن، اولین بار توسط شالیس در سال ۱۹۸۲ به‌منظور ارزیابی توانایی برنامه‌ریزی و حل مسئله به‌ویژه تشخیص نقص این دو در بیماران دارای ضایعات لوب فرونتال طراحی شد. شکل اصلی این آزمون تشکیل شده است از یک‌تخت چوبی سه میل با طول‌های متفاوت و دو مهره با رنگ‌های متفاوت. مهره‌ها را در حالت پیش فرض قرار می‌دهیم و سپس از آزمودنی می‌خواهیم مطابق با الگویی که مقابل آن‌ها قرار می‌گیرد مهره‌ها را یکی‌یکی آن قدر در میله‌ها جابجا کنند تا مطابق شکل الگو بشود. ۴۴

دیداری با ارائه دو محرک دایره سفید و قرمز آزمودنی باید به محض دیدن دایره سفید کلید را فشار می‌داد و در ارائه دایره قرمز در صفحه پاسخی نمی‌داد و در واکنش تشخیصی با محرک شنیداری آزمودنی باید دو صوت ۵۰۰ هرتز و ۲۵۰ هرتز را از یکدیگر تشخیص تنها به صوت ۲۵۰ هرتز پاسخ می‌داد. در سنجش زمان واکنش انتخابی با محرک دیداری آزمودنی با دست راست به محرک اول دایره سفید و با دست چپ به محرک دوم دایره قرمز پاسخ می‌داد و در ارائه محرک شنیداری نیز با ارائه محرک اول ۲۵۰ هرتز با دست راست و با ارائه دوم ۵۰۰ هرتز با دست چپ کلید را فشار می‌داد.

مهم‌ترین ابزار این پژوهش، یکی از انواع دستگاه‌های نوروترایی<sup>۱</sup> شرکت مدینا طب گستر است که به وسیله آن تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tdcs) انجام شد که با استفاده از دو الکتروود آند به عنوان قطب مثبت و تحریک‌کننده و کاتد به عنوان قطب منفی و بازدارنده و مهارکننده جریان با شدت یک‌دهم تا ۰.۲ میلی‌آمپر را از پوست سر و جمجمه عبور داده و قشر مغز را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با کلاه مخصوص آن‌ها را ثابت در نقطه دلخواه قرار داده و نگه می‌دارد سپس آزمونگر با توجه به شدت جریان و مدت زمان انتخابی و تعداد جلسه مدنظر خود دستگاه را تنظیم و مداخله را شروع می‌کند این دستگاه با باتری قابل شارژ کار می‌کند و با توجه به شدت جریان پایینی که عبور می‌دهد کاملاً بی‌خطر است. مارک دستگاه استفاده شده در این پژوهش neurostim2 ساخته شده توسط شرکت مدینا طب بود.

در این پژوهش، بعد از صحبت و بررسی سوابق بیماری و مصرف الکل و دخانیات افراد داوطلب از بین دانشجویان دانشگاه پیام نور تهران-جنوب و اطمینان از نبود هرگونه سابقه بیماری جسمی و روانی ۳۰ نفر وارد پژوهش شدند. افراد نمونه به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شم به عنوان گروه کنترل در پژوهش قرار گرفتند. قبل از اجرای جلسات توضیحی درباره روند انجام آزمایش، دستگاه، نحوه کار با آن، بی‌ضرر بودن و عوارض احتمالی با آزمودنی‌ها

صحبت شد و در مورد حفظ کامل اطلاعات و رعایت کامل امر رازداری در تمامی اطلاعات آن‌ها به آن‌ها اطمینان خاطر داده شد و رضایت کتبی از آن‌ها گرفته شد. در جلسه اول از هر دو گروه آزمون‌های کارت ویسکانسین، برج لندن و زمان واکنش ساده تشخیصی و انتخابی به صورت دیداری و شنیداری گرفته شد و بدین نحو اطلاعات پیش‌آزمون به دست آمد. برنامه مداخله تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر طی ۱۰ جلسه ۲۰ دقیقه‌ای به صورت پنج روز در هفته به مدت دو هفته بر گروه آزمایش اعمال شد و برای گروه شم همین برنامه با تفاوت اینکه هر جلسه تنها ۳۰ ثانیه تحریک را دریافت کردند سپس جریان خاموش شد بدون اینکه آن‌ها خود از این موضوع اطلاع داشته باشند اجرا شد. اندازه سر آزمودنی‌ها بر اساس سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ برای پیدا کردن نقاط مدنظر اندازه‌گیری شد در این مداخله نقطه F3 منطقه پیش پیشانی خلفی جانبی چپ به عنوان آند و نقطه FP2 به عنوان کاتد انتخاب و تحریک اجرا شد (سادات سیدی و بافنده قراملکی، ۱۳۹۶). به دلیل تأییراتی که برخی موارد بر نتیجه تحریک tDCS می‌تواند داشته باشد قبل از هر جلسه از اینکه آزمودنی مواد کافئین‌دار از جمله قهوه و غیره مصرف نکرده باشد و تمرینات بدنی انجام نداده باشد و خواب کافی داشته باشد و خواب‌آلوده نباشد اطمینان حاصل می‌شد. سپس با پایان یافتن برنامه مداخله‌ای مجدد آزمون‌های کارت‌های ویسکانسین برج لندن و زمان واکنش از تمامی آزمودنی‌ها گرفته شد. در نهایت نیز بعد از یک ماه از مرحله پس‌آزمون جهت اطمینان از ثبات تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم، آزمون‌ها مجدداً اخذ گردید تا اطلاعات مرحله پیگیری به دست آید و نتایج مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

در بخش اول تحلیل داده‌ها در این پژوهش، از نرم‌افزار SPSS برای توصیف مشخصات جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان در قالب جداول توزیع فراوانی و نمودارها استفاده شده است. در بخش دوم که مربوط به آمار استنباطی است، جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات از تحلیل کوواریانس با

پیش‌فرض‌های آزمون کوواریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر، شامل بررسی توزیع داده‌ها، همگنی شیب‌های رگرسیون و همگنی واریانس‌ها برای هر یک از فرضیات پژوهش بررسی شد و مشاهده گردید که براساس نسبت چولگی و کشیدگی، توزیع داده‌ها نرمال است و شرط همگنی شیب‌های رگرسیون و واریانس‌ها نیز برقرار است ( $\text{Sig} > 0.05$ ). بعد از برقراری این پیش‌فرض‌ها، نتایج آزمون تبیین گردید.

اندازه‌گیری‌های مکرر<sup>۱</sup> استفاده شد. همچنین داده‌های جمع‌آوری شده از طریق نرم‌افزار SPSS29 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

### یافته‌های پژوهش

در این پژوهش ۱۷ نفر زن و ۱۳ نفر مرد میانگین سنی ۲۵/۶ سال انحراف استاندارد ۲/۹۶ سال در دو گروه آزمایش و شم قرار گرفتند. قبل از جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات،

جدول ۱. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم - انعطاف‌پذیری

سطح معنی‌داری	F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	مجموع مجذورات	
۰/۰۰۰	۷۱/۸۹۴	۸۷/۵۹۶	۱	۸۷/۵۹۶	تعداد طبقات
۰/۰۰۰	۶۵/۲۲۴	۴۹۰/۸۷۴	۱	۴۹۰/۸۷۴	خطای درجا ماندگی
۰/۰۰۳	۱۰/۶۹۷	۴۳۷/۵۰۲	۱	۴۳۷/۵۰۲	پاسخ درست
۰/۰۰۰	۱۸/۴۲۷	۶۹۱/۹۲۲	۱	۶۹۱/۹۲۲	سایر خطاها
۰/۰۰۶	۸/۸۸۵	۵۸/۸۹۸	۱	۵۲/۸۹۸	پاسخ سطح مفهومی

براساس جدول ۱ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم در «انعطاف‌پذیری» کاملاً معنادار است ( $\text{Sig} < 0.05$ ).

جدول ۲. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس آزمایش و پیگیری - انعطاف‌پذیری

اندازه اثر	سطح معنی‌داری	خطای استاندارد	فرضیه df	F	مقدار	
۰/۰۷۱	۰/۱۶۴	۲۷	۱	۲/۰۴۸	۰/۹۲۹	تعداد طبقات
۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۲۷	۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	خطای درجا ماندگی
۰/۰۴۷	۰/۲۵۷	۲۷	۱	۱/۳۴۲	۰/۹۵۳	پاسخ درست
۰/۲۵۱	۰/۰۰۶	۲۷	۱	۹/۰۳۳	۰/۷۴۹	سایر خطاها
۰/۰۱۴	۰/۵۴۰	۲۷	۱	۰/۳۸۶	۰/۹۸۶	پاسخ سطح مفهومی

مراحل پس آزمایش و پیگیری فقط برای این متغیر از «انعطاف‌پذیری» معنادار است.

براساس جدول ۲ سطح معناداری همه‌ی متغیرها به جز «سایر خطاها» بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین تفاوت بین

جدول ۳. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی - انعطاف‌پذیری

سطح معناداری	خطای استاندارد	میانگین تفاوت‌ها		
۰/۰۰۰	۰/۲۹۵	۲/۵۰۴	آزمایش/شم	تعداد طبقات
۰/۱۶۴	۰/۰۷۰	۰/۱۰۰	پس آزمون/پیگیری	
۰/۰۰۰	۰/۷۲۰	-۵/۸۱۳	آزمایش/شم	خطای درجا ماندگی
۱/۰۰۰	۰/۱۶۱	۰/۰۰۱	پس آزمون/پیگیری	
۰/۰۰۳	۱/۸۵۵	۶/۰۶۷	آزمایش/شم	پاسخ درست
۰/۲۵۷	۰/۴۸۹	۰/۵۶۷	پس آزمون/پیگیری	
۰/۰۰۰	۱/۶۰۶	-۶/۸۹۵	آزمایش/شم	سایر خطاها

۰/۰۰۶	۰/۴۹۹	-۱/۵۰۰	پس‌آزمون/پیگیری	پاسخ سطح مفهومی
۰/۰۰۶	۰/۶۳۰	۱/۸۷۹	آزمایش/شم	
۰/۵۴۰	۰/۱۰۷	-۰/۰۶۷	پس‌آزمون/پیگیری	

براساس جدول ۳ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «انعطاف‌پذیری» کاملاً معنادار است.

جدول ۴. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم - حل مسئله

سطح معنی‌داری	F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	مجموع مجذورات	
۰/۰۰۰	۶۶/۰۵۵	۱۴۲۷۰۹۹/۹۴۰	۱	۱۴۲۷۰۹۹/۹۴۰	زمان کل
۰/۰۰۰	۲۴/۸۴۳	۲۵۹۶۳۲/۷۹۸	۱	۲۵۹۶۳۲/۷۹۸	زمان تأخیر
۰/۰۰۰	۸۶/۵۴۲	۴۸۵۵۲۲/۹۷۵	۱	۴۸۵۵۲۲/۹۷۵	زمان آزمایش
۰/۰۰۰	۲۸/۹۹۶	۳۱۰/۹۱۷	۱	۳۱۰/۹۱۷	نتیجه کلی
۰/۰۰۰	۲۶/۴۴۰	۱۶۶۲/۸۳۱	۱	۱۶۶۲/۸۳۱	خطا

براساس جدول ۴ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم در «حل مسئله» کاملاً معنادار است ( $sig < 0.05$ ).

جدول ۵. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس‌آزمایش و پیگیری - حل مسئله

اندازه اثر	سطح معنی‌داری	خطای استاندارد	فرضیه df	F	مقدار	
۰/۰۲۹	۰/۳۷۹	۲۷	۱	۰/۸۰۲	۰/۹۷۱	زمان کل
۰/۰۰۲	۰/۸۱۹	۲۷	۱	۰/۰۵۳	۰/۹۹۸	زمان تأخیر
۰/۰۳۲	۰/۳۵۲	۲۷	۱	۰/۸۹۶	۰/۹۶۸	زمان آزمایش
۰/۰۶۵	۰/۱۸۱	۲۷	۱	۱/۸۸۳	۰/۹۳۵	نتیجه کلی
۰/۰۶۲	۰/۱۹۳	۲۷	۱	۱/۷۷۸	۰/۹۳۸	خطا

براساس اطلاعات جدول ۵ تفاوت بین مراحل پس‌آزمایش و پیگیری در «حل مسئله» معنادار نیست ( $sig < 0.05$ ).

جدول ۶. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی - حل مسئله

سطح معناداری	خطای استاندارد	میانگین تفاوت‌ها		
۰/۰۰۰	۳۹/۱۷۱	-۳۱۸/۳۵۵	آزمایش، شم	زمان کل
۰/۳۷۹	۷/۸۱۸	-۷/۰۰۰	پس‌آزمون، پیگیری	
۰/۰۰۰	۲۷/۱۱	-۱۳۵/۶۲۵	آزمایش، شم	زمان تأخیر
۰/۸۱۹	۳/۶۰۷	۰/۸۳۳	پس‌آزمون، پیگیری	
۰/۰۰۰	۱۹/۸۰۸	-۱۸۴/۲۶۸	آزمایش، شم	زمان آزمایش
۰/۳۵۲	۴/۷۵۴	-۴/۵۰۰	پس‌آزمون، پیگیری	
۰/۰۰۱	۰/۸۴۶	۴/۵۵۷	آزمایش، شم	نتیجه کلی
۰/۱۸۱	۰/۱۹۴	۰/۲۶۷	پس‌آزمون، پیگیری	
۰/۰۰۰	۲/۰۴۸	-۱۰/۵۳۰	آزمایش، شم	خطا
۰/۱۹۳	۰/۴۵۰	-۰/۶۰۰	پس‌آزمون، پیگیری	



براساس جدول ۶ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «حل مسئله» کاملاً معنادار است.

جدول ۷. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم - سرعت پردازش

سطح معنی‌داری	F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	مجموع مجذورات	
۰/۰۰۰	۵۵/۱۴۰	۳۷۲/۲۱/۷۳۴	۱	۳۷۲۰۲۱/۷۳۴	دیداری ساده
۰/۰۰۰	۹۱/۰۰۱	۶۱۸۷۸۵/۳۳۸	۱	۶۱۸۷۸۵/۳۳۸	شنیداری ساده
۰/۰۰۰	۵۰/۲۵۸	۶۱۵۸۰۲/۹۱۰	۱	۶۱۵۸۰۲/۹۱۰	دیداری تشخیصی
۰/۰۰۰	۹۶/۱۵۴	۶۵۸۸۱۳/۱۲۵	۱	۶۵۸۸۱۳/۱۲۵	شنیداری تشخیصی
۰/۰۰۰	۷۴/۳۳۰	۵۴۰۰۸۷/۶۴۹	۱	۵۴۰۰۸۷/۶۴۹	دیداری انتخابی
۰/۰۰۰	۶۶/۳۵۴	۱۰۰۴۱۲۵/۹۸۷	۱	۱۰۰۴۱۲۵/۹۸۷	شنیداری انتخابی

براساس جدول ۷ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم در «سرعت پردازش» کاملاً معنادار است ( $sig < 0.05$ ).

جدول ۸. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس آزمایش و پیگیری سرعت پردازش

اندازه اثر	سطح معنی‌داری	خطای استاندارد	فرضیه df	F	مقدار	
۰/۰۹۳	۰/۱۰۸	۲۷	۱	۲/۷۵۷	۰/۹۰۷	دیداری ساده
۰/۱۰۱	۰/۰۹۳	۲۷	۱	۳/۰۲۶	۰/۸۹۹	شنیداری ساده
۰/۱۲	۰/۵۶۶	۲۷	۱	۰/۳۳۸	۰/۹۸۸	دیداری تشخیصی
۰/۰۲۱	۰/۴۵۵	۲۷	۱	۰/۵۷۴	۰/۹۷۹	شنیداری تشخیصی
۰/۰۲۶	۰/۴۰۵	۲۷	۱	۰/۷۱۵	۰/۹۷۴	دیداری انتخابی
۰/۰۷۶	۰/۱۴۸	۲۷	۱	۲/۲۱۵	۰/۹۲۴	شنیداری انتخابی

براساس جدول ۸ تفاوت بین مراحل پس آزمایش و پیگیری در «سرعت پردازش» معنادار نیست ( $sig < 0.05$ ).

جدول ۹. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی - سرعت پردازش (آزمون زمان واکنش)

سطح معناداری	خطای استاندارد	میانگین تفاوت‌ها			
۰/۰۰۰	۲۱/۲۱۰	-۱۵۷/۴۹۹	آزمایش.شم		دیداری ساده
۰/۱۰۸	۳/۴۵۳	۵/۷۳۳	پس آزمون.پیگیری		
۰/۰۰۰	۲۱/۳۳۳	-۲۰۲/۴۰۸	آزمایش.شم		شنیداری ساده
۰/۰۹۳	۲/۷۷۹	-۴/۸۳۳	پس آزمون.پیگیری		
۰/۰۰۰	۲۸/۶۲۴	-۲۰۲/۹۲۱	آزمایش.شم		دیداری تشخیصی
۰/۵۶۶	۲/۰۰۶	-۱/۱۶۷	پس آزمون.پیگیری		
۰/۰۰۰	۲۱/۳۷۷	-۲۰۹/۶۱۵	آزمایش.شم		شنیداری تشخیصی
۰/۴۵۵	۱/۲۷۶	-۰/۹۶۷	پس آزمون.پیگیری		
۰/۰۰۰	۲۲/۰۲۵	-۱۸۹/۸۸۷	آزمایش.شم		دیداری انتخابی
۰/۴۰۵	۳/۲۳۲	۲/۷۳۳	پس آزمون.پیگیری		
۰/۰۰۰	۳۱/۹۵۲	-۲۶۰/۲۷۰	آزمایش.شم		شنیداری انتخابی
۰/۱۴۸	۵/۳۵۳	-۷/۹۶۷	پس آزمون.پیگیری		

دانش‌آموز انجام شد و نتایج نشان داد که tDCS تأثیر مثبتی بر توجه و انعطاف‌پذیری آن‌ها دارد. همچنین در مطالعه مهرولی، آتشافروز و امیدیان (۱۴۰۲) بر اساس پژوهشی که بر روی کودکان دارای اختلال یادگیری خاص به منظور مقایسه تأثیر دو روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی - حرکتی بر انعطاف‌پذیری شناختی انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که روش tDCS تأثیر بیشتری بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی دارد. با توجه به نتایج پژوهش‌هایی که تبیین شد و نتایجی که از پژوهش حاضر به دست آمده است می‌توان اظهار داشت که زمانی که ناحیه F3 مغز را با استفاده از دستگاه tDCS تحریک می‌شود جریان خونی و میزان گلوکز و اکسیژن‌رسانی به این ناحیه افزایش می‌یابد و همچنین افزایش سطح فعالیت نورون‌های مغز و به دنبال آن افزایش میزان انتقال‌دهنده‌های عصبی همچون دوپامین را در پی دارد که این موضوع موجب بهبود عملکردهای شناختی مانند انعطاف‌پذیری شناختی می‌شود مداخله‌ای که در این پژوهش انجام گرفت و بهبود مؤلفه‌ها در آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین در پس‌آزمون مشاهده گردید که گویای تأثیر مثبت روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی است.

تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر حل مسئله نیز تأثیر می‌گذارد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم نقطه F3 موجب عملکرد بهتر در آزمون برج لندن و در نتیجه بهبود قدرت حل مسئله در افراد می‌شود. نیومن و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی از آزمودنی‌ها در حین انجام آزمون برج لندن تصاویر fMRI گرفتند و دریافتند که در زمان انجام تکلیف قسمت قشر پیشانی فعالیت دارد. بنابراین زمانی که نقطه F3 تحریک می‌شود باعث افزایش خون‌رسانی و اکسیژن و گلوکز در این ناحیه شده و نوروترانسمیترها نیز افزایش می‌یابند که این منجر به تسهیل فرایندهای یادگیری می‌شود. نتایج این پژوهش

بر اساس جدول ۹ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «سرعت پردازش» کاملاً معنادار است.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باتوجه به یافته‌های پژوهش، تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی دانشجویان تأثیر می‌گذارد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. قابل‌ذکر است تحریک ناحیه F3 توسط دستگاه tDCS باعث بهبود عملکرد در تمامی مؤلفه‌های مربوط به متغیر انعطاف‌پذیری شناختی می‌شود؛ بنابراین tDCS موجب بالا رفتن مؤلفه‌های تعداد طبقات، پاسخ درست، پاسخ سطح مفهومی و پایین آمدن خطای در جاماندگی، پاسخ نادرست، کل کوشش، سایر خطاها، زمان اجرای آزمون و تعداد کوشش برای تکمیل الگوی اول و شکست در حفظ یک توالی شده است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹)، نوذری، نجاتی و میرزاییان (۱۳۹۸)، روح‌الامینی، سلیمانی و واقف (۱۳۹۷) مهرولی، آتشافروز و امیدیان (۱۴۰۲) همسو است. به‌علاوه نتایج پژوهش صالحی نژاد، وثوق و نجاتی (۲۰۲۲) نشان‌دهنده افزایش انعطاف‌پذیری شناختی بر اثر تحریک همین ناحیه DLPFC بود. در تمامی این پژوهش‌ها تغییراتی مثبت در مؤلفه انعطاف‌پذیری شناختی در اثر تحریک الکتریکی ناحیه DLPFC و نقطه F3 ثبت شده است که نشان‌دهنده نقش این ناحیه در مؤلفه‌های شناختی است. در پژوهشی که اورکی، فرجی، زارع و نجاتی (۱۳۹۶) بر روی افراد مبتلا به ADHD انجام دادند نقطه F3 را آند و نقطه F4 را کاتد در نظر گرفتند و تغییری در متغیر انعطاف‌پذیری شناختی پدید نیامد که نتیجه ناهم‌سو با پژوهش حاضر است اما با تغییر محل قرارگیری کاتد نقطه F3 آند و FP2 کاتد انعطاف‌پذیری شناختی افزایش یافت که همسو با نتایج حاضر است. در پژوهش روح‌الامینی، سلیمانی و واقف (۱۳۹۷)، تأثیر آزمون tDCS بر توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی دانش‌آموزان با اختلال یادگیری خاص خواندن مورد بررسی قرار گرفت. آزمون با ۲۰

و دوستان (۱۳۹۶) نیز این تأثیرات در افراد ورزشکار بررسی کردند و به نتیجه مثبتی دست پیدا کردند براساس پژوهش هوروث و همکاران (۲۰۱۶) tDCS تأثیری بر زمان واکنش ندارد که ناهم‌سو با نتایج به‌دست‌آمده است. طبق تحقیقات تحریک آندی tDCS باعث افزایش جریان خون مغز در ناحیه تحریک‌شده RCBF و همچنین افزایش نوروترانسمیترهایی مانند دوپامین سرتونین و استیل کولین و کاهش گابا می‌شود. درواقع این تحریک موجب کاهش بازداری درون قشری و افزایش تسهیل قشری می‌شود. همچنین تحریک ناحیه DLPPFC باعث افزایش فعالیت سلول‌های مغزی و آزاد شدن فاکتورهای نوتروفیک می‌شود که نوتروفین‌ها شبکه‌های سیناپسی و در نتیجه اتصالات مغزی را افزایش می‌دهند که موجب افزایش سرعت پردازش و عملکردهای شناختی می‌شود.

در پژوهش‌های آتی، می‌توان به موارد زیر توجه ویژه داشت: بررسی تأثیرات طولانی‌مدت tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان و افراد دیگر، به منظور بررسی نحوه پایداری و تأثیرات بلندمدت تحریک. ارزیابی تأثیر ترکیب تحریک جریان مستقیم درون‌جمجمه‌ای با روش‌های دیگر تحریک مغزی یا مداخلات شناختی دیگر بر عملکرد شناختی، به منظور بررسی اثرات تقویت‌کننده یا تضعیف‌کننده این ترکیب‌ها.

### منابع

آقاجانی، س.، طاهری فرد، م.، علیزاده گورادال، ج. (۱۳۹۷). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (tDCS) بر بهبود کارکردهای شناختی و حل مسئله در دانش‌آموزان. *مجله روانشناسی مدرسه*، زمستان ۱۳۹۷.

اورکی، م.، فرجی، ر.، زارع، ح.، نجاتی، و. (۱۳۹۶). اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (tDCS) بر کارکردهای اجرایی بازماندگان جنگی مبتلا به اختلال استرس پس‌آسیبی. (PTSD) *فصلنامه علمی پژوهشی عصب روانشناسی*، زمستان ۱۳۹۶.

تیمورپور، سپیده و محمودی، حدیثه (۱۳۹۴). *مؤلفه‌ها و مراحل اجرای برنامه فلسفی برای کودکان*، سومین کنفرانس بین‌المللی روانشناسی و علوم اجتماعی، تهران.

همسو با پژوهش‌های آقاجانی، طاهری فرد و علیزاده (۱۳۹۷) سالوی، بیمن، بیکسون و همکاران (۲۰۲۰) واله، باجو و آریزا (۲۰۲۰) دی برناردی لوفت، زیوگا، بانسی و همکاران (۲۰۱۷) دبارناتس و همکاران (۲۰۱۹) میگراد، کلزالتو و هامل (۲۰۱۵) داکری، ونگ، بیربامر و همکاران (۲۰۰۹) است و با نتایج تحقیق اورکی، فرجی، زارع و نجاتی (۱۳۹۶) ناهم‌سو است. در پژوهشی که نجاتی، صالحی نژاد و نیچه (۲۰۱۸) انجام دادند تأثیر بیشتر ناحیه IDLPFC به‌عنوان آند و rOFC به‌عنوان کاتد در حل مسئله و برنامه‌ریزی را نشان دادند. متوکی، سلاو و لاویدور (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود تأثیر تحریک آنودال tDCS روی پیشانی چپ و مؤلفه‌های کنترل شناختی حل مسئله را بررسی کردند. نتایج نشان داد tDCS به‌طور قابل‌توجهی تشخیص راه‌حل برای مشکلات دشوار را افزایش می‌دهد. به‌علاوه میگراد، کلزاتو و هامل (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر tDCS بر تفکر خلاق که برای حل مسئله به کار می‌رود پرداختند. در جلساتی شرکت‌کنندگان تحت تحریک دوطرفه DLPPFC و PPC قرار گرفتند که نتایج نشان‌دهنده‌ی افزایش توانایی حل مسئله از طریق تحریک tDCS بر DLPPFC چپ و PPC است. در نتیجه بر اساس پژوهش‌هایی که انجام پذیرفته و نتایجی که حاصل شد با تحریک ناحیه F3 مغز تحریک‌پذیری نوروهای این قسمت بالا رفته و قدرت حل مسئله که مربوط به همین ناحیه می‌شود را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده است.

درنهایت باتوجه به یافته‌های پژوهش تأثیر تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر سرعت پردازش دانشجویان تأیید می‌گردد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. این یافته‌ها همسو با پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط جهانی، ناصحی، تهرانی دوست و همکاران (۱۴۰۱) فیض امامی‌پور، حسن ابهریان و همکاران (۲۰۲۰) سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹) نودری، نجاتی و میرزاییان (۱۳۹۸) واقف، قراملکی و سلطانی (۱۳۹۸) نرماشیری، اشرفی، رستمی و همکاران (۱۳۹۶) زمانی و دوستان (۱۳۹۶) است. بوگیو و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر tDCS بر کاهش زمان واکنش افراد مبتلا به سکتا را در پژوهش خود نشان دادند. بررسی‌های زمانی

- Pathways Linking the Big Five to Psychological Distress: Exploring the Mediating Roles of Stress Mindset and Coping Flexibility. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/jcm11092272>
- Debarnot, U., Schlatter S., Guillot, A. (2019). Early stimulation of the left posterior parietal cortex promotes representation change in problem solving. *Scientific Reports*, 16523
- Di Bernardi Luft, C., Zioga, I., Banissy, M. J., & Bhattacharya, J. (2017). Relaxing learned constraints through cathodal tDCS on the left dorsolateral prefrontal cortex. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03022-2>
- Dockery, C. A., Hueckel-Weng, R., Birbaumer, N., & Plewnia, C. (2009). Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. *Journal of Neuroscience*, 29(22), 7271–7277. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0065-09.2009>
- Feiz, P., Emamipour, S., Hassani-Abhari, P., & ... (2020). Comparing Cup Stacking and Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory and Processing Speed. ... *Journal of Learning & ...*, 3(11), 61–68. <https://doi.org/10.22034/iepa.2021.247006.1206>
- Horvath, J. C., Caeter, O, Forte, JD. (2016). No significant effect of transcranial direct current stimulation found on simple motor reaction time comparing 15 different stimulation protocols. *Neuropsychologia*, volume 91
- Ibbotson, P. (2023). The Development of Executive Function: Mechanisms of Change and Functional Pressures. *Journal of Cognition and Development*, 24(2), 172–190.
- جهانی، م.، ناصحی، م.، تهرانی دوست، م.، حریرچیان، م.ح.، زرین‌دست، م.ر. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی آندی تحریک الکتریکی مستقیم قشری مغز (tDCS) بر عملکرد توجه پایدار و سرعت واکنش در بیماران مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس (MS). روح‌الایمنی، ش.، سلیمانی، م.، واقف، ل. (۱۳۹۷). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز (tDCS) بر توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی دانش آموزان با اختلال خاص خواندن. *مجله ناتوانی‌های یادگیری*، پاییز ۱۳۹۷. زمانی، گ.، دوستان، م. (۱۳۹۶). تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار. *فصلنامه علمی پژوهشی عصب روانشناسی*. سلیمانی، م.، کاظمی منیر، ن. (۱۳۹۹). اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی و سرعت پردازش کدکان با نارسایی توجه/فزون کنشی. *فصلنامه روانشناسی تربیتی*، پاییز ۱۳۹۹.
- مهرولی، ف.، آتش‌افروز، ع.، امیدیان، م. (۱۴۰۲). مقایسه اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای مغز با استفاده از جریان الکتریکی مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی حرکتی بر کارکردهای اجرایی (انعطاف‌پذیری شناختی و بازداری پاسخ) دانش آموزان دارای اختلال یادگیری خاص. *نرمایشی، ع. اشرفی، ح. رستمی، ز. باقری فر، ع. همتی راد، گ. (۱۳۹۶). اثربخشی تحریک الکتریکی فراقشری مغز بر بهبود سرعت پردازش شناختی توجه در افراد مبتلا به بیش‌فعالی و نقص توجه.*
- نوذری، م.، نجاتی، و.، میرزاییان، ب. (۱۳۹۸). اثربخشی تحریک الکتریکی مغز بر کارکردهای اجرایی و کاهش علائم افراد دچار اختلال افسردگی.
- واقف، ل.، بافنده قراملکی، ح.، سلطانی مارگانی، ف. (۱۳۹۸). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر زمان واکنش و تصمیم‌گیری پرخطر در افراد مبتلا به افسردگی.
- Boggio, P. S., Nunes, A., Rigonatti, S. P., Nitsche, M. A., Pascual-leone, A., & Fregni, F. (2007). Repeated sessions of noninvasive brain DC stimulation is associated with motor function improvement in stroke patients. *Restor Neurol Neurosci*, 25(2), 123-129
- Chen, L., Qu, L., & Hong, R. Y. (2022).

- Salvi, C., Beeman, M., Bikson, M., McKinley, R., & Grafman, J. (2020). TDCS to the right anterior temporal lobe facilitates insight problem-solving. *Scientific reports*, 10(1), 946.
- Salehinejad, M. A., Vosough, Y., & Nejati, V. (2022). The Impact of Bilateral Anodal tDCS over Left and Right DLPFC on Executive Functions in Children with ADHD. *Brain Sciences*, 12(8).  
<https://doi.org/10.3390/brainsci12081098>
- Soyata, A. Z., Aksu, S., Woods, A. J., İşçen, P., Saçar, K. T., & Karamürsel, S. (2019). Effect of transcranial direct current stimulation on decision making and cognitive flexibility in gambling disorder. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 269(3), 275–284.  
<https://doi.org/10.1007/s00406-018-0948-5>
- Strand, R., Kovacic, Z., Funtowicz, S., Benini, L. & Jesus, A. (2022). Exiting the Anthropocene? Exploring fundamental change in our relationship with nature. *European Environment Agency, Briefing*, (24), (2022).
- Valle, TM., Bajo, MT., Gomez-Ariza, CJ. (2020). Cathodal transcranial direct current stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex cancels out the cost of selective retrieval on subsequent analogical reasoning. *Neuropsychologia*, Volume 141. 107431
- Wheatley, G.H. (1984). Problem solving in School Mathematics (MEPS Technical Report 84.01). West Lafayette, IN: Purdue University, *School Mathematics and Science Center*.
- Wong, C. H. Y., Liu, J., Lee, T. M. C., Tao, J., Wong, A. W. K., Chau, B. K. H., Chen, L., & Chan, C. C. H. (2021).  
<https://doi.org/10.1080/15248372.2022.2160719>
- Metuki, N., Sela, T., Lavidor, M. (2012). Enhancing cognitive control components of insight problems solving by anodal tDCS of the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. Volume 5, Issue 2, April 2012.
- Mezzacappa, E. (2016). Executive function. The Curated Reference Collection in Neuroscience and Biobehavioral Psychology, 18(3), 142–150.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.06001-6>
- Monsoon, A. D., Preece, D. A., & Becerra, R. (2022). Control and acceptance beliefs about emotions: associations with psychological distress and the mediating role of emotion regulation flexibility. *Australian Psychologist*, 57(4), 236–248.  
<https://doi.org/10.1080/00050067.2022.2089542>
- Nejati, V. & Salehinejad, M.A. & Nitche, M. (2018) Interaction of the left Dorsolateral Prefrontal Cortex and Right Orbitofrontal cortex in Hot and Cold Executive Function: Evidence from Transcranial Direct Current Stimulation. *Neuroscience* 369 109-123
- Newman, SD., Carpenter, PA., Varma, S. Just, MA., (2003). Frontal and parietal participation in problem solving in the tower of london : fMRI and computational modeling of planning and high-level perception. *Neuropsychologia*. Volume 41, Issue 12.
- Reinhart, R. M., Cosman, J. D., Fukuda, K., & Woodman, G. F. (2017). Using transcranial direct-current stimulation (tDCS) to understand cognitive processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79, 3-23

NeuroImage Fronto-cerebellar connectivity mediating cognitive processing speed ☆. *NeuroImage*, 226(July 2020), 117556. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117556>

Zmigrod, SH., Colzato, LS., Hommel, B. (2015). Stimulating Creativity: Modulation of Convergent and Divergent Thinking by Transcranial direct Current Stimulation, *Creativity Research Journal*, 27:4, 353-360, DOI: 10.1080/10400419.2015.1087280