Cognitive Abilities Preferment in Math Problem-Solving through Combined Neuro-Feedback and Trans Cranial Electrical Stimulation Therapy

Ghazal Zandkarimi[1*], Fatemeh Fazlali[1], Mohammad Bagher Hasanvand[2]

[1]Department of Psychology, Faculty of Welfare, Tehran, Iran
[2]Department of Clinical Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **7 May 2022** ***Revised:*** **5 Sep 2022** ***Accepted*****: 9 Oct 2022**

ABSTRACT

Introduction: Math problem solving requires improving both details and generalities perception by the brain's parietal cortex and in turn, achieving this ability requires the development of cognitive abilities. The purpose of this study was to improve cognitive abilities in math problem-solving through combined neurofeedback and transcranial electrical stimulation therapy. ***Materials and Methods:*** This study was a quantitative study of the single case type with the ABAB design. The statistical population was the ninth-grade high school students referring to two counseling centers in Karaj. Among them, 5 weak students in math problem-solving were selected purposefully and voluntarily. The entry criteria were age between 14 and 16 years, a math score below 13.5 from 20 in the previous semester. Furthermore, participants should not have a diagnosis of learning disorders and coexistence, medical treatment, and a math reinforcement course. The measurement tools were the fourth edition of the Wechsler IQ test, transcranial electrical stimulation devices, neurofeedback, and math exam scores between two academic semesters. The combined intervention of electrical stimulation and neurofeedback was performed for 50 minutes, two months, and twice a week with the aim of promoting alpha and theta waves and suppressing beta three waves in the parietal cortex. Percentage improvement formulas, Cohen's effect size, and visual analysis were used to analyze the data. ***Results:*** The results showed that the combined treatment was effective in the mentioned brain waves. On the other hand, cognitive factors in Wechsler's intelligence scale, including active memory, processing speed, perceptual reasoning, and verbal comprehension, as well as students' math exam scores showed a significant improvement. ***Conclusion:*** The findings showed that transcranial stimulation of the parietal cortex and neuro-feedback brain training are able to increase the learning ability of students who have problems understanding the details and generalities of mathematics. Therefore, this non-invasive combined method can be used as an approach to improve the cognitive abilities of students who are weak in solving mathematical problems.

Keywords:

1. Neurofeedback
2. Brain Waves
3. Cognitive Dysfunction

***Corresponding Author:** Ghazal Zandkarimi

Email: *ghazalzandi@yahoo.com*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

ارتقاء توانایی‌های شناختی در حل‌مسئله ریاضی از طریق درمان ترکیبی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای

غزال زندکریمی*[۱]، فاطمه فضل علی[۱]، محمد باقر حسنوند[۲]

[۱]گروه روانشناسی، دانشکده رفاه، تهران، ایران
[۲]گروه روانشناسی بالینی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
دریافت: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۱ اصلاحیه: ۱۴ شهریور ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۷ مهر ۱۴۰۱

چـــــکیده

مقدمه: حل مسئله ریاضی مستلزم بهبود درک جزئیات و کلیات توسط قشر آهیانه مغز است و به نوبه خود، دستیابی به این توانایی مستلزم رشد توانایی‌های شناختی می‌باشد. هدف از این مطالعه بهبود توانایی‌های شناختی در حل مسئله ریاضی از طریق درمان ترکیبی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بود. ***مواد و روش‌ها:*** این مطالعه یک مطالعهٔ کمی از نوع تک موردی با طرح ABAB بود. جامعه آماری، دانش آموزان پایه نهم متوسطه مراجعه کننده به دو مرکز مشاوره کرج بودند. از این میان پنج دانش آموز ضعیف در حل مسئله ریاضی به‌صورت هدفمند و داوطلبانه انتخاب شدند. معیارهای ورود، سن بین ۱۴ تا ۱۶ سال، نمره ریاضی کمتر از ۱۳/۵ از ۲۰ در ترم قبل بود. علاوه بر این، شرکت‌کنندگان نباید دارای تشخیص اختلالات یادگیری و یا سایر اختلالات همبود، درمان پزشکی و دوره تقویتی ریاضی باشند. ابزارهای اندازه‌گیری، ویرایش چهارم آزمون هوش وکسلر، دستگاه های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای، نوروفیدبک و نمرات امتحان ریاضی بین دو ترم تحصیلی بود. مداخله ترکیبی تحریک الکتریکی و نوروفیدبک به مدت ۵۰ دقیقه، دو ماه و دوبار در هفته با هدف ارتقای امواج آلفا و تتا و سرکوب امواج بتا سه در قشر جداری انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از فرمول‌های درصد بهبود ، اندازه اثر کوهن و تحلیل دیداری استفاده شد. ***یافته‌ها:*** نتایج نشان داد که درمان ترکیبی در امواج مغزی مذکور موثر بوده است. از سوی دیگر، عوامل شناختی در مقیاس هوش وکسلر شامل حافظه فعال، سرعت پردازش، استدلال ادراکی و درک کلامی و همچنین نمرات امتحان ریاضی دانش‌آموزان بهبود قابل توجهی را نشان دادند. ***نتیجه‌گیری:*** یافته‌ها نشان داد که تحریک جمجمه‌ای قشر آهیانه و آموزش مغز با بازخورد عصبی، قادر به افزایش توانایی یادگیری دانش‌آموزانی است که در درک جزئیات و کلیات ریاضیات مشکل دارند. بنابراین می‌توان از این روش ترکیبی غیرتهاجمی به‌عنوان رویکردی برای بهبود توانایی‌های شناختی دانش آموزانی که در حل مسائل ریاضی ضعیف هستند، استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی:
۱-نوروفیدبک
۲- امواج مغزی
۳- اختلال عملکردشناختی

***نویسنده مسئول:** غزال زندکریمی

پست الکترونیک: *ghazalzandi@yahoo.com*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

مقدمه

تمامی احساسات، افکار و رفتارهای ما تحت فرمان مغز انسان است (۱). توانایی در حل‌مسئله ریاضی در مغز دارای نواحی اختصاصی و گیرنده‌های حسی اختصاصی است و از اصل خطوط علامت گذاری شده تبعیت می‌کند و جالب اینکه این نواحی از مغز قابل تقویت و درمان هستند. ضعف در حل مسائل ریاضی خاص عبارت است از وجود ضعف در مدار عصبی مربوط به یک یا بیش از یک فرایند روان شناختی پایه که در فرآیند درک یا کاربرد زبان شفاهی یا نوشتاری نقش دارد (۲). مشکلات عملکرد ریاضی به شکل‌های مختلفی از جمله: دشواری در درک صورت مسئله، ضعف استدلال و تبدیل واحدهای اندازه‌گیری به هم، اخلال در مقایسه کردن، تجسم فضایی در محاسبه‌های ذهنی و نیز تکانشگری عملی جلوه‌گر می‌شود (۳). این مشکل را اینطور نیز می‌توان تعریف کرد: ضعف در انجام مهارت‌های حساب با توجه به ظرفیت هوش و سطح آموزش مورد انتظار از یادگیرنده، که این مهارت‌ها می‌بایست به کمک آزمون‌های سنجش فردی اندازه‌گیری شده باشند. ضعف در عملکرد ریاضی اصطلاحی برای گستره وسیعی از مشکلات دیرپا در حوزه ریاضیات است. حل مسائل ریاضی نیازمند چندین فرآیند شناختی ست که مهمترین آنها حافظه فعال، سرعت پردازش توجهی، استدلال و فهم و درک میباشد؛ بدین معنی که یادگیرندگان باید قوانین ریاضی قبلاً آموخته شده را به خاطر بیاورند، مسائل ارائه شده را درک کنند و محاسبات لازم برای حل آنها را انجام دهند (۴).

چند ناحیه قشری و زیر قشری در پردازش شناختی ریاضی نقش دارند. تکنیک‌های تصویربرداری عصبی، نواحی مغزی مرتبط با پردازش ریاضی را به‌طور اختصاصی مشخص نموده‌اند. یکی از این ساختارها شیار درون جداری قشر آهیانه است که با تشخیص معنایی اعداد و مسائل حساب مرتبط است (۵). به‌عنوان مثال، مشکلات ریاضی کلامی مانند دشواری در استنباط صورت مسئله و ضعف استدلال با فعال شدن همزمان لوب گیجگاهی و آهیانه‌ای چپ مرتبط هستند (۶)؛ در در حالی که ضعف‌های بصری مانند تبدیل واحدهای اندازه‌گیری به هم، اخلال در مقایسه کردن و تجسم فضایی در محاسبه‌های ذهنی، فعالیت را همزمان در لوب پس‌سری و آهیانه‌ای راست ثبت می‌نمایند (۷). قشر پیش پیشانی نیز به‌عنوان ناحیه حیاتی درگیر در عملکردهای اجرایی، زمانی فعال می‌شود که یادگیرنده درگیر محاسبات ذهنی و همچنین دستکاری اطلاعات برای حل یک مسئله است (۸).

مطالب ارائه شده، حاکی از آن هستند که مسائل ریاضی و حل آن از مغز نشات می‌گیرند. درنتیجه جهت بهبود ناتوانی در حل مساله ریاضی بهتر است از درمان‌هایی که بتوان نواحی مغزی را مستقیماً تحریک و تقویت کرد استفاده نمود. از روش‌های درمانی مدرن جهت تحریک و تقویت نواحی مغزی، نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای[1](tDCS) می‌باشند. نوروفیدبک شکلی از بیوفیدبک است که به آزمودنی‌ها اجازه می‌دهد تا فعالیت مغز خود را مشاهده کنند و در نهایت کنترل ارادی خود را به دست آورند. تنظیمات نوروفیدبک شامل ثبت فعالیت عصبی، استخراج ویژگی‌های عصبی مورد علاقه، تبدیل این ویژگی‌ها، و بازگرداندن سیگنال حاصله به سوژه از طریق یکی از روش‌های حسی بینایی، شنیداری یا لامسه است. تحت این شرایط، آزمودنی‌ها یاد می‌گیرند که به طور ارادی فعالیت مغز خود را که معمولاً از آن بی اطلاع هستند، تغییر دهند (۹). نوروفیدبک، روشی است که در آن اشخاص یاد می‌گیرند به وسیله شرطی سازی کنشگر، الگوی امواج مغزی خود را تغییر دهند (۱۰). از طرفی، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز، یک تکنیک غیر تهاجمی است که اخیرا برای تحریک نواحی مختلف مغز، از طریق ایجاد جریانات مستقیم خفیف در سرتاسر جمجمه، پیشنهاد شده است که بسته به قطبیت تحریک، می‌تواند موجب افزایش یا کاهش تحریک‌پذیری در نواحی مختلف مغز شود. تحریک tDCS به محققان اجازه می‌دهد تا به صورت هدفمند تحریک پذیری را در نواحی کانونی مغز افزایش یا کاهش دهند (۱۱). انتظاری که از درمان ترکیبی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای و پس از آن جلسات نوروفیدبک می‌رود اینست که با تحریک الکتریکی، نورون‌ها در نواحی خاص آماده تحریک‌پذیری شوند و سپس با کمک نوروفیدبک، تقویت مغزی و ارتقاء فعالیت نورونی اتفاق بیفتد. لذا این دو درمان همواره در کنار هم موثر خواهند بود (۱۲).

در واقع، نوسانات عصبی در باندهای فرکانسی خاص به فرآیندهای شناختی خاصی مرتبط هستند. به‌عنوان مثال، باند دلتا (فرکانس‌های کمتر از ۴ هرتز با دامنه بالا) با آسیب‌های مغزی، مشکلات یادگیری، ناتوانی در اندیشیدن و نقص توجه و بیش فعالی عمیق مرتبط است. در عین حال، توانایی بازسازی سلولی-

[1] Trans-Cranial Direct Current Stimulation

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

بدنی، سیستم ایمنی بدن و حل مشکلات خواب نیز متوجه این موج مغزی می‌باشد (۱۳). در حالی که تتا (۸-۴ هرتز) با تمرکز بر دنیای درونی، ناهشیار، تصاویر خیالی، تروماهای کودکی و خلاقیت در ارتباط است (۱۴). تغییرات در محدوده آلفا (۸ تا ۱۳ هرتز با دامنه متغیر) و همبستگی‌های جزئی بین نواحی جلویی در این باند به‌عنوان حد فاصل بین دنیای درونی و دنیای بیرونی، با فرآیندهای توجه و مهار اطلاعات نامربوط همراه است (۹). در مقابل، باندهای سریع با دامنه کم مانند بتا (۱۳-۳۵ هرتز) با مرحله کدگذاری وظایف حافظه کوتاه مدت، نگهداری، بازیابی اطلاعات، و تفاوت در بار حافظه و گاما (۳۱-۶۰ هرتز) با ارتباطات بین عصبی شبکه‌های بازدارنده و کارکردهای اجرایی بالا مرتبط هستند و عمدتاً در قسمت‌های جلوی مغز منعکس می‌شوند (۱۵). یکی از نکاتی که در یادگیری با توجه به باندهای فرکانسی مورد توجه است اینست که جفت شدن باندهای فرکانسی در نواحی از مغز، موجب یادگیری‌های خاص می‌شود. مثلا در حین حل مسائل منطقی- ریاضی، جفت شدن باند آلفا در قشر جداری آهیانه با باند تتا در نواحی پشتی جانبی آهیانه‌ای همراه بوده است که فرآیندهای حسابی مانند زیرسازی، دستکاری اعداد و بار حافظه را تقویت می‌نماید (۱۷، ۱۶). از آنجایی که نوروفیدبک یک فرآیند یادگیری تقویتی است، مهم است که تقویت در زمان مناسب ارائه شود و باعث انطباق مغز گردد. سیگنال تقویتی که خیلی دیر ارائه شود، ممکن است به درستی با الگوی فعالیت مورد نظر مطابقت نداشته باشد و در نتیجه یادگیری را مختل یا حتی از آن جلوگیری کند. انتخاب یک معیار یادگیری مرتبط برای ارائه نوروفیدبک، یکی ازموضوعات قابل بحث در آزمایش‌های اولیه کامیا بوده است (۱۸). پروتکل‌های نوروفیدبک معمولی از طرح‌های تقویتی گسسته (درصد زمان) یا پیوسته (یکپارچه) استفاده می‌کنند (۱۹). اما تکنیک پیشرفته دیگری به نام نوروفیدبک با امتیاز Z وجود دارد که امکان ارائه نوروفیدبک همراه با tDCS را پیشنهاد می‌کند. در این الگو، تقویت حسی، تقویت پیچیده و احتمالی، تقویت ثانویه انگیزشی فرآیند شکل‌دهی به کمک ارائه بازخورد به طور پی‌در پی ارائه می‌گردند (۲۳-۲۰).

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که نوروفیدبک و تحریک الکتریکی مغز توانسته‌اند برخی از مشکلات شناختی و کارکردهای اجرایی را ارتقا دهند و نهایتا با بهبود این عملکردها رفتارهای سازگارانه‌تری در افراد انتظار می‌رود (۲۴). ارتقای حافظه فعال توسط درمان تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای که ازطریق تحریک در دو نقطه F3 و F4 و همچنین F7 و F8 انجام می‌شود از این دسته مطالعات هستند (۲۶-۲۵). به‌نظر می‌رسد با تحریک نقاط F3 و P3 عملکردهای اجرایی مغز (حافظه فعال، بارداری پاسخ، توجه پایدار، سازماندهی و برنامه ریزی) که نقش مهمی در یادگیری و حل مسئله ریاضی دارند بهبود می‌یابند. اکثر دانش‌آموزان با مشکلات توجه، یادگیری و حافظه در درس ریاضی، می‌توانند از طریق تحریک و تقویت مغزی بهبود بیابند (۲۸، ۲۷). باور بر این است که می‌توان عملکرد پردازش مقدار عددی و حساب ذهنی را با استفاده از تحریک جریان فراجمجمه‌ای ارتقا داد و نقاط اصلی درگیر در ارتقاء عملکرد ریاضی اغلب F3 و P3 و کار با جفت باند آلفا- تتا بخصوص در کودکان مبتلا به اختلال یادگیری ریاضی محور اصلی مطالعات فوق بوده است (۲۹). اما با توجه به اینکه ناحیه P3 مغزی درگیر جزییات ریاضی و ناحیه P4 درگیر با کلیات و درک فضایی ریاضی شناخته شده‌اند، مطالعات کمتری در تقویت و تحریک این نقاط جهت ارتقاء توانایی‌های شناختی و حل مسئله ریاضی به چشم می‌خورد (۳۰).

به‌نظر می‌رسد تاکنون در مطالعات مربوط به یادگیری و ارتقاء عملکرد ریاضی، خط برش بین وجود اختلال یا عدم وجود اختلال در گروه کودکان مد نظر بوده است. اما مسئله‌ای که توجه کمتری به آن شده است، ضعف در حل مسئله ریاضی است که از سال‌های اولیه دبیرستان در نوجوانان به اوج خود می‌رسد. بسیاری از کودکانی که فاقد اختلال ریاضی تشخیص داده می‌شوند، به خوبی یا با سطحی متوسط، قادر هستند دوران دبستان را طی کنند و ظاهرا مشکلات در حل مسئله ریاضی آنان با ورود به دوره دبیرستان آغاز می‌شود. با شروع دوره دبیرستان اغلب دانش‌آموزان به این نتیجه می‌رسند که توانایی یادگیری آنان جهت انتخاب رشته‌های ریاضی با مشکل روبرو است. یکی از پژوهشهای داخلی اخیر مشکلات دانش‌آموزان سال دهم را تحت این عناوین گزارش می‌کند: بی‌دقتی در خواندن صورت مسئله، غلبهٔ قالبهای ذهنی قبلی بر فرایند خواندن سؤال، ناتوانی در ارائهٔ مدل ریاضی بر اساس مدل زندگی واقعی، ناتوانی در شناخت ویژگیهای شکل‌های هندسی، درک نکردن معنای ریاضی واژه‌هایی که در زبان محاورهای استفاده می‌شوند، اشتباه در درک مفهوم محیط و مساحت، بی‌توجهی به مفهوم

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل واحدها، ناتوانی در تفسیر عددهای ریاضی در دنیای واقعی و نهایتا دشواری در کار کردن با عددهای اعشاری (۳۱). هیچ مطالعه‌ای وجود این مشکلات را تحت عنوان اختلال ریاضی شناسایی نمی‌کند؛ اما به نظر می‌رسد این افراد از دوران کودکی نیز با همین مشکلات در درک ریاضی روبرو بوده باشند. کودکان در سال‌های اولیه تحصیلی قادر هستند تا حجم سبک درس ریاضی را معمولا با فرآیندهای جبرانی مانند حفظ کردن و نمادگرایی‌های اولیه پشت سر بگذارند. اما از سال دهم تحصیلی، حجم دروسی که نیازمند عملکردهای ریاضی هستند به طور قابل توجهی افزایش و تنوع می‌یابند و دانش آموزان دیگر نمی‌توانند با روشهای جبرانی و حفظی از پس یادگیری آن بر بیایند. پیامد حاصل از این فرآیند، معمولا با انتخاب رشته‌های اجباری دیگر به ظهور می‌رسد. دانش‌آموزانی که در حب مسائل ریاضی با فشار روبرو هستند معمولا رشته‌های علوم انسانی و فنی‌حرفه‌ای را انتخاب می‌کنند. اما استدلالی که در پس ذهن اغلب افراد با این نوع انتخاب رشته باقی می‌ماند، این است که رشته‌های فنی‌حرفه‌ای مخصوص افراد تنبل است فلذا، انگیزه پیشرفت آنان افت می‌نماید. در مصاحبه با بسیاری از دانش آموزان فنی‌حرفه‌ای، علت انتخاب رشته، نیاوردن نمره در رشته‌های اصلی مطرح می‌شود. این مسئله، احتمالا انگیزه تحصیلی و حس خودکارآمدی نوجوان را سرکوب می‌کند. دانش آموزانی که با میل باطنی خود، رشته‌های هنر و فنی‌حرفه‌ای را انتخاب می‌کنند، انگیزه تحصیلی و خودکارآمدی بیشتری نسبت به دانش آموزانی دارند که دلیل انتخاب رشته آن‌ها ضعف در رشته‌های دیگر بوده است (۳۲). بنابراین اگر بتوانیم توانایی حل مسئله ریاضی را در دوران متوسط اول و قبل از رسیدن دانش‌آموزان به سال دهم با روش‌های تحریک و تقویت مغزی ارتقاء بدهیم، خواهیم توانست راهی جهت انتخاب رشته با توجه به میل و رغبت دانش‌آموزان برای آنان هموار نماییم تا انگیزه آنان در ادامه تحصیل بالا بماند. لذا هدف این پژوهش ارتقای توانایی‌های شناختی حافظه فعال، سرعت پردازش، استدلال ادراکی و فهم و درک کلامی با درمان ترکیبی تحریکی الکتریکی فراجمجمه‌ای و نوروفیدبک بود تا بر اساس نظریه انتقال دور و انتقال نزدیک بتوان حل مسئله ریاضی را در دانش آموزان مقطع متوسطه بهبود بخشید (۳۴، ۳۳). فرضی که در این مطالعه مطرح بود این بود که توانایی حل مسئله ریاضی دانش‌آموزان متوسطه اول، از طریق تاثیر درمان ترکیبی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر توانایی‌های شناختی ارتقا می‌یابد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با توجه به اهداف پژوهش و محدودیت‌های اجرایی، از نوع طرح تک آزمودنی با خط پایه چندگانه می‌باشد. در طرح خط پایه چندگانه اطلاعات مربوط به خط پایه گردآوری می‌شوند. در این پژوهش نیز خط پایه چندگانه در سطح آزمودنی انجام شد. متغیرهای مستقل درمان با دستگاه‌های نوروفیدبک و tDCS و متغیر وابسته توانایی حل مسئله ریاضی بودند. جامعهٔ آماری مورد نظر در این پژوهش شامل دانش آموزان مقطع متوسطه اول بود که به دو مرکز مشاوره و روانشناسی در شهرستان کرج مراجعه کرده بودند. نمونه‌گیری این پژوهش به صورت داوطلبانه در دسترس انجام شد و ۵ دانش‌آموز پسر مقطع متوسطه اول در پایه نهم، درسنین بین ۱۴ تا ۱۶ سال انتخاب شدند که ضعف در حل مسئله ریاضی داشتند و نمره ریاضی آنها در کارنامه زیر بین ۱۲ تا ۱۳/۵بود و در ۳ ماه اخیر به این دو کلینیک مراجعه نموده بودند. عدم تشخیص بالینی در حیطه اختلال یادگیری، تشخیص بهنجار در حیطه فعالیتهای شناختی توسط متخصص بالینی، و عدم حضور در کلاسهای تقویت ریاضی نیز از دیگر ملاکهای ورود دانش آموزان به این مطالعه بودند غیبت بیش از یک جلسه از جلسات درمان و حضور در کلاسهای تقویتی خارج از برنامه مدرسه از ملاکهای خروج بودند. مداخله ترکیبی هفته‌ای ۲ مرتبه در ۸ هفته، برای هر شرکت‌کننده حدود ۵۰ دقیقه با درمان نوروفیدبک و tDCS، انجام شد.

۲-۱-ملاحظات اخلاقی

لازم به ذکر است در پژوهش حاضر، کلیه ملاحظات اخلاقی اعم از اصل رازداری، محرمانه بودن اطلاعات شخصی، دریافت رضایت نامه از والدین و نوجوانان شرکت کننده و ارائه نتایج به شرکت کنندگان رعایت گردید. مطالعه حاضر موفق به دریافت کد اخلاق با شماره (IR.ALZAHRA.REC.1400.051) از کمیته اخلاق وزارت بهداشت در هر مرحله از مطالعه گردیده است. همچنین کد کارآزمایی بالینی مطالعه (IRCT20220406054427N1) ثبت شده در مرکز ثبت کارآزمایی بالینی ایران می‌باشد.

۲-۲-ابزارهای جمع آوری اطلاعات

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

آزمون هوش وکسلر کودکان (WISC-IV): نسخه چهارم آزمون هوشی وکسلر کودکان، متشکل از مجموعه خرده آزمون‌هایی است که به‌صورت فردی اجرا می‌شود و پنج عامل اصلی هوشبهر شامل درک مطلب کلامی، استدلال ادراکی، حافظه فعال، سرعت پردازش و هوشبهر کل را بدست می‌دهد (۳۶، ۳۵). این تست از ۶ تا ۱۶ سال قابل اجرا می‌باشد. در بررسی روایی و اعتبار ویرایش چهارم مقیاس هوش و کسلر کودکان نتایج روایی نشان داد که بین ویرایش پنجم مقیاس هوش وکسلر کودکان، مقیاس تجدیدنظر شده هوش وکسلر کودکان و ماتریس‌های پیشرونده ریون در بخش‌های مرتبط همبستگی معنی‌دار وجود دارد. اعتبار آزمون با روش‌های دونیمه سازی و بازآزمایی برای هوشبهر درک کلامی ۰/۸۸، استدلال ادراکی ۰/۸۳، حافظه فعال ۰/۸۲، سرعت پردازش ۰/۸۰ و برای هوشبهر کلی ۰/۹۱ بود (۳۷).

تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS): ابزاری است که توانمندی مغز را در پردازش اطلاعات ورودی افزایش می‌دهد و باعث می‌شود اثربخشی سایر درمان‌ها را افزایش یابد (۳۸). تحریک tDCS روشی که جریان مداوم و کم شدت الکتریکی را روی سر اعمال می‌کند، روشی غیرتهاجمی برای تحریک مغز است که در تعدیل برانگیختگی قشری و هدایت رفتار و ادراک انسان موثر است (۳۹). در این مطالعه مدارهای قطعه آهیانه‌ای یعنی P_3 و P_4 که درگیر در حل‌مسئله ریاضی هستند، مورد تحریک قرار گرفتند. نحوه قرارگیری پدهای به ابعاد ۳ سانتی‌متر، به این صورت بود که در مدارهای دو کانالی ارائه گردیدند. الکترودهای کاتد جهت ارتقاء امواج آلفا و تتا و سرکوب B_3 در نقاط P_3 و P_4 و آندهای هر دو مدار، در روی نقطه Fz در ناحیه پیشانی قرار گرفتند. شدت جریان الکتریکی ۱/۲ تا ۲ میلی آمپر بوده است. طول جلسات درمانی ۱۵ دقیقه بوده و جلسات در فواصل هفته‌ای دوبار و قبل از درمان با نوروفیدبک انجام شد. در طی مدت تحریک الکتریکی با tDCS هر شرکت کننده موظف بود مسائل ریاضی مربوط به پایه خود و هر آنچه که طی هفته در کلاس درس در مدرسه آموزش دیده بود را تمرین نماید.

دستگاه نوروفیدبک: نوروفیدبک نوعی آموزش خودتنظیمی مغز است و با پسخوراندهایی که به فرد درباره الگوهای امواج مغزی (EEG) می‌دهد، باعث آگاهی فرد از الگوی فعالیت الکتریکی در ناحیه خاصی از مغز خود می‌شود و با تقویت مسیرهای ارتباطی بین نورون‌ها، تحمل و انعطاف‌پذیری مغز را افزایش می‌دهد (۴۰). دراین پژوهش از نوروفیدبک دوکاناله (Procomb2) استفاده شد. جلسات در طول ۲ ماه و به‌صورت یا دو جلسه در هفته و بلافاصله پس ازتحریک با tDCS برگزار شدند. امواج مغزی با استفاده از الکترودهایی که بر روی نقطه P_4 (نقطه‌ای که است در آن کلیات و درک مسائل ریاضی پردازش می‌شوند) و P_3 (نقطه‌ای که در آن محاسبه مانند جمع و ضرب، یادآوری و نمادهای ریاضی پردازش می‌شوند) نصب و اطلاعات ثبت شدند. هر جلسه به مدت ۳۵ دقیقه پروتکل درمانی مورد نظر شامل ارتقاء امواج آلفا و تتا و سرکوب موج B_3 در نقاط P_3وP_4 روی شرکت کنندگان اجرا شد. دستگاه نوروفیدبک با بازداری تکانه‌ها موجب می‌شود تا دانش‌آموز بر روی این بازداری‌ها کنترل داشته و بتواند مسائل ریاضی را با تمرکز بر موضوعات حل و فصل نماید. جهت جمع آوری داده‌های مربوط به امواج مغزی از نقاط P3 و P4، دو خط پایه و پس از آن هر دو جلسه یک سنجش و در کل ۱۰ سنجش انجام شد. همچنین جهت جمع‌آوری داده‌های مربوط به توانایی‌های شناختی، از زیر مقیاسها و عاملهای اصلی مقیاس وکسلر در دو اندازه‌گیری ابتدا و انتهای مطالعه استفاده شد. در عین حال، نمرات ریاضی پایان ترم و طی ترم، با نمرات ریاضی ترم قبل مقایسه گردیدند. مداخله ترکیبی با tDCS و نوروفیدبک به مدت هشت هفته و هفته‌ای دوبار به مدت ۵۰ دقیقه برای هر پنج شرکت کننده انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش از طریق تحلیل دیداری، درصد بهبودی و اندازه اثرکوهن انجام شد.

یافته‌ها

هر پنج شرکت‌کننده پایه نهم بودند. همانطور که در بخش نمونه‌گیری ارائه شد، نمره ریاضی ترم پیش شرکت‌کنندگان بین ۱۲ تا ۱۳/۵ بود. در این بخش به روند بهبودی امواج و خرده مقیاس‌های وکسلر پرداخته شده است. لازم به ذکر است دو خط پایه قبل از شروع مداخله گرفته شد. سپس از جلسه دوم تا جلسه ۱۲ ام ۱۰ سنجش انجام شد که جهت فشرده سازی اطلاعات در جدول ۱، تنها سنجش‌های سوم، پنجم، هفتم، نهم ودوازدهم ارائه گردیده‌اند.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

در جدول ۱، نمرات حاصل از خطوط پایه و سنجش‌ها ارائه گردیده‌اند که البته جهت فشرده‌سازی، به جای ارائه همه جلسات سنجش، جلسات فرد ارائه گردیده‌اند. مطالعات در اندازه‌گیری حجم اثر به روش کوهن، عدد ۰/۴۱ را به عنوان حجم اثر پایین، بالاتر از ۱/۱۵ را به عنوان حجم اثر متوسط (*) و بالاتر از ۲/۷۰ را به‌عنوان حجم اثر بالا (**) گزارش کرده‌اند (۴۱). در رابطه با بهبود توانایی‌های شناختی، خرده مقیاس‌ها و عاملهای آزمون وکسلر قبل و بعد از مداخله توسط شرکت‌کنندگان اجرا شد که نتایج

جدول ۱- نمرات امواج B۳ ، T، A شرکت‌کنندگان بر حسب میکروولت در مراحل خط پایه و مداخله در نقاط P۳ و P۴ لوب آهیانه

شرکت کنندگان	امواج	نقطه P3							نقطه P4						
		خط پایه ۱	خط پایه ۲	سنجش ۳	سنجش ۵	سنجش ۷	سنجش ۹	سنجش ۱۲	خط پایه ۱	خط پایه ۲	سنجش ۳	سنجش ۵	سنجش ۷	سنجش ۹	سنجش ۱۲
۱	B۳	۲۰/۷۰	۲۰/۳۶	۲۰/۱۲	۲۰/۶۲	۲۰/۹۱	۲۰/۴۳	۲۰/۱۴	۲۰/۷۰	۲۰/۶۴	۲۰/۰۲	۲۰/۰۹	۲۰/۳۱	۲۰/۱۴	۲۰/۱۴
	T	۵/۲۰	۵/۱۹	۵/۵۴	۵/۱۶	۵/۱۹	۵/۸۷	۵/۰۹	۵/۷۰	۵/۶۵	۵/۷۶	۵/۰۱	۵/۷۶	۵/۳۵	۵/۱۲
	A	۸/۸۰	۸/۵۰	۸/۰۷	۸/۱۸	۸/۶۷	۸/۱۴	۸/۰۲	۸/۸۰	۸/۸۰	۸/۱۶	۸/۸۴	۸/۲۱	۸/۱۲	۸/۳۲
۲	B۳	۲۰/۸۰	۲۰/۷۶	۲۰/۸۷	۲۰/۳۱	۲۰/۴۶	۲۰/۲۲	۲۰/۰۵	۲۰/۱۵	۲۰/۱۹	۲۰/۴۹	۲۰/۷۰	۲۰/۸۹	۲۰/۲۲	۲۰/۱۰
	T	۵/۳۲	۵/۷۵	۵/۸۷	۵/۷۷	۵/۳۱	۶/۳۵	۵/۰۸	۵/۱۰	۵/۱۰	۵/۰۹	۵/۰۵	۵/۴۸	۵/۱۴	۵/۸۸
	A	۸/۱۸	۸/۱۳	۸/۷۱	۸/۶۶	۸/۶۱	۸/۲۱	۸/۱۴	۸/۲۱	۸/۳۱	۸/۱۳	۸/۱۰	۸/۰۸	۸/۰۸	۸/۰۶
۳	B۳	۲۰/۷۰	۲۰/۷۴	۲۰/۱۲	۲۰/۱۰	۲۰/۰۹	۲۰/۱۰	۲۰/۰۴	۲۰/۱۰	۲۰/۱۴	۱۹/۹۴	۱۹/۹۸	۱۹/۳۱	۱۹/۱۴	۱۹/۰۹
	T	۴/۳۲	۴/۶۹	۵/۵۴	۴/۱۶	۵/۱۹	۶/۸۷	۶/۰۹	۴/۷۰	۳/۶۰	۶/۷۶	۴/۰۱	۴/۷۶	۶/۲۳	۴/۳۲
	A	۹/۱۰	۷/۵۰	۹/۰۷	۵/۱۸	۸/۶۷	۷/۱۴	۸/۰۲	۷/۸۰	۷/۸۰	۵/۱۶	۶/۸۴	۷/۲۱	۸/۱۲	۷/۲۰
۴	B۳	۱۹/۱۰	۲۰/۷۶	۲۰/۸۷	۲۰/۳۱	۲۰/۴۶	۲۰/۲۲	۱۷/۰۵	۲۰/۱۵	۲۰/۹۹	۲۰/۴۹	۲۰/۷۰	۱۰/۸۹	۲۰/۲۳	۲۰/۰۵
	T	۵/۳۲	۴/۷۵	۴/۸۷	۴/۷۷	۶/۳۱	۵/۳۵	۶/۰۸	۴/۱۰	۵/۱۰	۶/۰۹	۶/۰۵	۴/۴۸	۶/۱۴	۶/۸۸
	A	۹/۱۸	۹/۱۳	۹/۷۷	۹/۶۶	۹/۶۱	۹/۲۱	۹/۱۴	۹/۲۱	۹/۳۱	۹/۱۳	۹/۱۰	۹/۰۸	۹/۸۰	۹/۶۰
۵	B۳	۲۰/۱۴	۲۰/۱۰	۲۰/۷۶	۲۰/۲۰	۲۰/۶۸	۲۰/۴۱	۲۰/۰۴	۲۰/۹۱	۲۰/۱۵	۲۰/۰۴	۲۰/۷۸	۲۰/۷۷	۲۰/۳۱	۲۰/۲۳
	T	۵/۰۹	۴/۳۲	۵/۷۵	۵/۱۶	۵/۸۷	۶/۸۷	۶/۱۹	۵/۳۲	۵/۱۰	۵/۷۷	۵/۹۰	۵/۰۹	۵/۸۳	۵/۱۴
	A	۸/۰۲	۸/۱۸	۶/۱۳	۸/۷۷	۹/۸۱	۸/۸۸	۸/۱۸	۸/۳۲	۸/۲۱	۹/۳۲	۷/۵۷	۸/۳۳	۸/۵۴	۸/۸۰

جدول ۲- شاخص‌های درصد بهبود و اندازه اثر کوهن در تغییر نمرات امواج در نقاط P۳ و P۴

شرکت کنندگان	امواج	P3						P4					
		میانگین خط پایه	SD خط پایه	میانگین سنجش	SD سنجش	درصد بهبودی کلی	اندازه اثر کوهن	میانگین خط پایه	SD خط پایه	میانگین سنجش	SD سنجش	درصد بهبودی کلی	اندازه اثر کوهن
۱	B۳	۲۰/۵۳	۰/۲۴	۲۰/۳۸	۰/۳۳	۲/۷۰	۰/۸۹	۲۰/۷۹	۰/۱۱	۲۰/۴۵	۰/۲۸	۳/۲۷	*۲/۰۰
	T	۵/۴۴	۰/۳۵	۵/۴۹	۰/۳۱	۲/۱۶	۰/۸۵	۵/۷۳	۰/۱۹	۵/۵۶	۰/۳۲	۵/۰۰	*۲/۳۱
	A	۸/۳	۰/۲۸	۸/۴۸	۰/۴۲	۰/۹۹	۰/۸۰	۹/۶۰	۰/۱۴	۹/۳۸	۰/۲۹	۵/۳۶	*۲/۴۷
۲	B۳	۲۰/۴۳	۰/۴۶	۲۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۶	۲۰/۲۶	۰/۲۴	۲۰/۵۴	۰/۳۱	۲/۷۸	۰/۴۰
	T	۵/۵۳	۰/۳۰	۵/۶۵	۰/۴۳	۴/۵۱	*۱/۲۸	۵/۴۸	۰/۵۴	۵/۴۸	۰/۳۲	۱/۷۶	۰
	A	۸/۱۵	۰/۰۳	۸/۵۲	۰/۲۶	۰/۴۹	۰/۵۵	۹/۰۹	۰	۹/۴۱	۰/۳۰	۱/۴۳	*۱/۰۶
۳	B۳	۱۰/۵۳	۰/۲۴	۱۶/۵۸	۴/۲۶	۸۸/۲۲	*۱/۵۱	۱۳/۲۹	۰/۶۹	۱۲/۹۵	۴/۰۷	۵۷/۱۸	**۴/۹۸
	T	۴/۵۰	۰/۲۶	۵/۸۹	۰/۹۴	۴۰/۹۷	*۲/۰۴	۶/۷۹	۰/۱۹	۶/۳۶	۰/۸۱	۴/۲۴	۰/۷۲
	A	۶/۸	۰/۹۸	۸/۱۷	۱/۴۴	۴۷/۸۶	**۲/۹۸	۸/۶	۰/۱۴	۸/۴۰	۰/۸۱	۵/۹۷	۰/۳۳
۴	B۳	۱۹/۹۳	۰/۲۵	۱۹/۹۸	۱/۱۳	۱۰/۷۳	**۳/۰۳	۱۴/۷۶	۶/۱۲	۲۰/۵۹	۰/۲۹	۸/۱۷	**۲/۹۹
	T	۵/۰۳	۰/۹۸	۵/۴۲	۱/۰۶	۱۴/۲۸	**۴/۸۷	۵/۴۸	۱/۹۵	۵/۱۰	۰/۹۲	۲/۱۹	۰/۳۸
	A	۹/۱۵	۱/۱۵	۹/۰۲	۱/۰۵	۲۲/۲۲	*۱/۳۰	۸/۰۹	۰	۸/۸۷	۰/۶۰	۱/۶۱	۰/۸۵
۵	B۳	۲۰/۱۴	۰/۰۳	۲۰/۵۰	۰/۲۶	۳/۴۷	*۱/۵۶	۲۰/۱۰	۰/۰۲	۱۹/۵	۳/۲۰	۰/۰۹	۰/۱۸
	T	۴/۷	۰/۵۴	۵/۹۱	۰/۴۹	۲۱/۶۱	**۴/۲۴	۵/۲۱	۰/۱۵	۵/۴۵	۰/۸۰	۳/۷۶	*۲/۱۴
	A	۸/۱۰	۰/۱۱	۸/۵۶	۱/۱۵	۱/۹۹	۰/۴۴	۹/۱۳	۰/۰۶	۸/۰۹	۰/۸۲	۲۲/۲۲	**۵/۵۵

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

آن در جداول و نمودارهای زیر گزارش شده است.

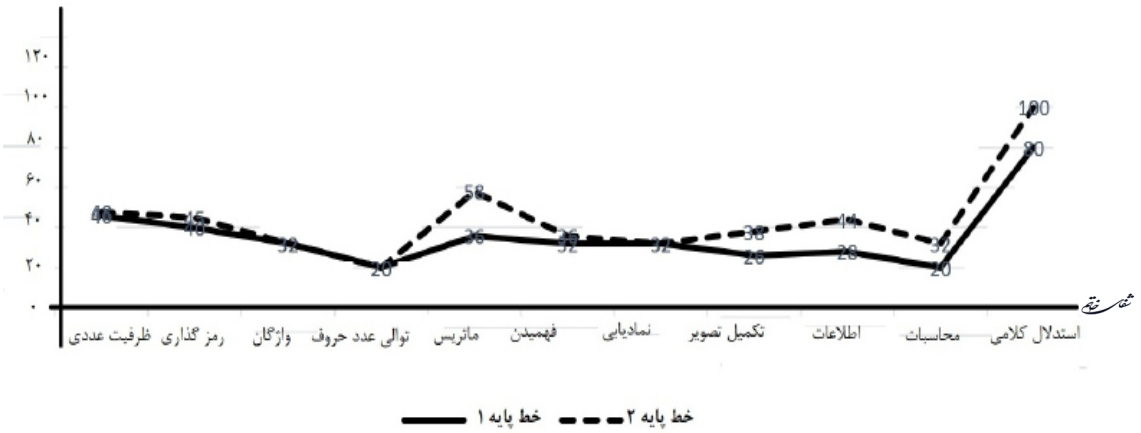
بر اساس محاسبات حجم اثرکوهن و داده‌های ناهمپوش (PND)، درصدهای بهبود بین ۵ تا ۱۰ حجم اثر پایین، بین ۱۰ تا ۱۵ حجم اثر متوسط و بالاتر از ۱۵ حجم اثر بالایی داشته‌اند. جدول فوق نشان می‌دهد که شرکت کننده ۱ در عامل‌های فهم کلامی و استدلال ادراکی بهبود نداشته ولی در حافظه فعال و سرعت پردازش تغییرات چشمگیری نشان داده است. شرکت کننده ۲ نیز فقط در مقیاس سرعت پردازش بهبود نشان داده است. اما شرکت کنندگان ۳، ۴ و ۵ در تمام مقیاسهای اصلی بهبودی قابل قبولی داشته‌اند. تحلیل دیداری به کمک نمودار عملکرد کلی شرکت کنندگان، روند بهبود را روشن‌تر نشان می‌دهد.

جدول زیر نمرات ریاضی ترم پیش شرکت‌کنندگان را به‌عنوان خط پایه، سپس امتحانات طی ترم را که هر ماه در مدرسه گرفته شده و نهایتا نمره امتحان پایان ترم دانش‌آموزان را به‌عنوان پیگیری همراه با اندازه اثر کوهن نشان داده است.

همانطور که در بالا نیز گزارش شده است، مطالعات در اندازه‌گیری حجم اثر به روش کوهن، عدد ۰/۴۱ را به‌عنوان حجم اثر پایین، بالاتر از ۱/۱۵ را به‌عنوان حجم اثر متوسط (*) و بالاتر از ۲/۷۰ را به‌عنوان حجم اثر بالا (**) گزارش کرده‌اند (۴۱).

جدول ۳- روند بهبود مقیاس‌ها و خرده مقیاس‌های وکسلر در دو اندازه‌گیری

عامل اصلی	مقیاس	شرکت کننده ۱			شرکت کننده ۲			شرکت کننده ۳			شرکت کننده ۴			شرکت کننده ۵		
		سنجش۱	سنجش۲	درصد بهبود	سنجش۱	سنجش۲	درصد بهبود	سنجش۱	سنجش۲	درصد بهبود	سنجش۱	سنجش۲	درصد بهبود	سنجش۱	سنجش۲	درصد بهبود
فهم کلامی	واژگان	۶۸	۶۵	۴/۴۱	۶۸	۶۸	۰	۴۹	۵۵	۱/۲۴	۲۰	۳۲	۶۰	۴۶	۴۸	۴/۲۴
	فهمیدن	۴۰	۴۰	۰	۴۰	۴۰	۰	۳۲	۴۰	۲۵/۰۰	۲۵	۴۱	۱۷/۱۴	۴۰	۴۵	۱۲/۵۰
	اطلاعات	۳۲	۳۲	۰	۳۲	۳۲	۰	۳۰	۳۲	۶/۶۶	۲۹	۳۲	۱۰/۳۴	۳۲	۳۲	۰
استدلال ادراکی	استدلال کلمه	۲۴	۲۴	۰	۲۴	۲۴	۰	۲۴	۲۴	۰	۲۳	۲۴	۴/۳۴	۲۰	۲۰	۰
	ماتریس	۳۵	۳۵	۰	۳۵	۳۵	۰	۴۴	۴۴	۰	۲۲	۲۶	۱۸/۱۸	۳۶	۴۸	۳۳/۳۳
	تکمیل تصاویر	۳۸	۳۸	۰	۳۸	۳۸	۰	۳۵	۳۸	۸/۵۷	۳۰	۳۸	۲۶/۶۶	۳۲	۳۶	۱۲/۵۰
حافظه فعال	ظرفیت عددی	۳۱	۳۲	۳/۲۲	۳۲	۳۲	۰	۳۵	۴۲	۸/۵۷	۲۰	۲۸	۴۰	۳۲	۳۲	۰
	توالی عددی	۳۰	۳۰	۰	۳۰	۳۰	۰	۳۰	۳۰	۰	۱۲	۲۵	۱۰/۳۳	۲۶	۳۰	۱۵/۳۸
	محاسبات	۳۰	۴۴	۱۱/۷۶	۳۴	۳۴	۰	۳۰	۴۴	۱۱/۷۶	۳۴	۳۴	۰	۲۸	۳۴	۲۱/۴۳
سرعت پردازش	رمزگذاری	۲۳	۲۲	۴/۳۵	۳۴	۳۴	۰	۲۰	۲۰	۰	۲۰	۲۰	۰	۲۰	۲۰	۰
	نمادیابی	۵۰	۷۰	۱۵/۷۱	۴۸	۹۸	۵۱/۰۲	۸۰	۸۵	۶/۲۵	۶۸	۷۵	۱۰/۲۹	۸۰	۹۰	۱۲/۵۰



نمودار ۱- روند تغییرات کلی خرده مقیاس های آزمون وکسلر در شرکت‌کنندگان

جدول ۴- نمرات ریاضی، درصد بهبود و اندازه اثر کوهن شرکت‌کنندگان از ابتدا تا انتهای ترم تحصیلی

شرکت‌کننده	خط پایه	میانگین سنجش	انحراف معیارسنجش	درصد بهبود سنجش	اندازه اثر سنجش	پیگیری	درصد بهبود کلی	اندازه اثر پیگیری
۱	۱۲/۵	۱۳/۷۵	۰/۲۵	۱۲/۰۰	۱/۰۰	۱۶/۵	۳۲/۰۰	۴۴۳/۲۵
۲	۱۳	۱۴/۷۵	۰/۳۴	۱۴/۰۰	۴۴۵/۱۴	۱۶	۲۳/۰۷	۴۴۳/۱۲
۳	۱۳/۵	۱۵	۰/۷۰	۱۳/۰۰	۴۲/۱۴	۱۶	۱۸/۵۱	۴۲/۲۷
۴	۱۳	۱۵/۲۵	۰/۷۰	۱۶/۰۰	۴۴۳/۲۱	۱۶/۵	۲۶/۰۲	۴۲/۳۲
۵	۱۳	۱۵/۵	۱/۰۰	۱۳/۰۰	۴۱/۵۰	۱۶/۵	۲۶/۰۲	۴۴۳/۲۱

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تاثیر درمان ترکیبی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه ای بر توانایی‌های شناختی در حل مسئله ریاضی دانش آموزان متوسطه اول بود. همانطور که یافته‌ها نشان می‌دهند درمان ترکیبی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در بهبود امواج مغزی دانش‌آموزان تاثیرگذار بوده است. از طرفی نیز، همین تحریکات امواج مغزی توانسته در مقیاس‌ها، عامل‌های اصلی و خرده مقیاس‌های آزمون هوش وکسلر که در حل‌مسئله ریاضی موثر هستند، اثر معنی‌داری داشته باشد. به طور کلی، می‌توان گفت تحریکات مغزی توسط امواج توانسته در این زمینه‌ها کمک کننده باشد. پژوهش‌های متعددی همسو با این یافته، در داخل و خارج کشور بر تاثیر نوروفیدبک و درمان تحریک فراجمجمه‌ای بر افزایش توان شناختی تاکید داشته‌اند (۲۷، ۲۵، ۱۰). به نظر می‌رسد، تحریک و تقویت نقاط مغزی مربوط به درک جزئیات و کلیات ریاضی می‌تواند، دانش‌آموزان را جهت درک مسئله و معنای ریاضی واژه‌ها، کاهش بی‌دقتی، شناخت ویژگی‌های هندسی و کاهش خطاهای مقایسه توانمند نماید. این پدیده احتمالا به دلیل تحریک نقاط با tDCS و حل همزمان مسائل ریاضی توسط شرکت‌کنندگان صورت گرفت؛ زیرا پیش از شروع جلسه نوروفیدبک، دانش‌آموزان موظف بودند همزمان با دریافت ۱۵ دقیقه‌ای تحریک الکتریکی، به حل مسائل ریاضی مقطع خود بپردازند. در این مطالعه پروتکل معمول tDCS به صورت دو کاناله که هر کدام از طریق دو الکترود متصل شونده بر روی پوست قرا می‌گرفتند، استفاده شد. جریان‌های کاتدی همزمان بر روی قشر آهیانه چپ (P3) و دیگری بر روی قشر آهیانه راست (P4) قرار گرفت. جریان الکتریکی یک تا دو میلی آمپر به مدت ۱۵ دقیقه بین این دو الکترود که هر کدام معمولاً سطح مقطعی برابر با سه سانتیمتر مربع دارند، اعمال گردید. از طرفی، جریان آندی از هر دو مدار بر روی نقطه Fz قرار گرفت. گرچه در این مطالعه ارتقاء فعالیت قشر پیشانی مد نظر نبوده است زیرا، در مطالعات پیشینه به میزان قابل توجهی از تحریک همزمان بین مدار آهیانه‌ای- پیشانی صحبت شده بود (۲۴، ۲۶، ۲۸). نکته‌ای که تمرکز این مطالعه برروی آن بود، ارتقاء توانایی های شناختی بر اساس تحریک و تقویت مدار آهیانه‌ای بود؛ قشری که درک کلی و جزئی ریاضی به طور اختصاصی به مدارهای آن ارجاع می‌شوند. اثرات رفتاری یک جلسه استفاده از tDCS تا حدود یک ساعت باقی می‌ماند. تحریک tDCS آندی با آماده سازی نورونها برای دپلاریزه شدن اثری تحریکی بر سلول‌های عصبی داشته، درحالیکه تحریک کاتدی با آماده سازی نورون جهت هایپریلاریزه شدن، منجر به مهار و خاموشی بافت عصبی شد و این پدیده به نوبه خود موجب ارتقاء امواج تتا و آلفا گردیده و موج بتای سه را که درگیر در استرس می‌باشد، سرکوب نمود. نتیجه این جریان، وانهادگی در قشر آهیانه بود که به خودی خود منجر به افزایش توانایی درک فضایی که فعالیت شناختی مخصوص قشر آهیانه است، گردید. دستور زبان پیچیده، نامگذاری اشیاء، ساخت جمله و پردازش ریاضی برای لوب جداری چپ آهیانه قابل شناسایی هستند در حالی که جهت گیری نقشه، تشخیص فضایی و دانستن تفاوت بین راست و چپ کاملاً از عملکردهای لوب جداری راست هستند (۱۱). می‌توان گفت که تأثیرات مشاهده شده ناشی از افزایش وانهادگی در کرتکس آهیانه است؛ زیرا تحریک کاتدی با رپلاریزه کردن نورونی موجب افزایش پتانسیل استراحت نورورنی می‌شود و امکان درک فضایی در آن ناحیه را افزایش می‌دهد. همچنین جریان ثابت الکتریکی می‌تواند موجب تغییرات در غلظت یونی در آن محل شود که موجب تغییر پروتئین‌های عبوری از غشا و نیز تغییرات در یون هیدروژن مثبت (H+) می‌شود و عوامل بهبود تحریک پذیری را درپی دارد (۹). فرض دیگر می‌تواند تحریک شدن قسمت‌های Fz به دلیل این باشد که تحریک کاتدی از نقاط P3 و P4 شروع و با تحریک آندی ناحیه کرتکس پیشانی مرکزی خاتمه یافته و با فعال سازی این بخش از پیشانی که یکی از نقاط تحریک توجهی است، موجب مضاعف شدن توانایی یادگیری ریاضی شده است که موجب بهبود در حافظه کوتاه مدت، مهارت های بینایی- فضایی، عملکردهای اجرایی، توجه، تمرکز، حافظه کاری، زبان، آگاهی نسبت به زمان، مکان و حل‌مساله دانش آموزان می‌شود. این یافته با یافته‌های اخیر انور و جواندی و هارمو و همکاران که مطرح نمودند تحریک مشارکتی آهیانه و پیشانی جهت ارتقاء حل مساله ریاضی بسیار موفقیت آمیز است همسو می‌باشد (۷، ۳). عامل‌های اصلی در تست وکسلر از جمله فهم کلامی، استدلال ادراکی، حافظه فعال و سرعت پردازش تغییر معنی‌دار نشان دادند. در عامل فهم کلامی، زیر مقیاس فهمیدن در سه شرکت کننده از پنج شرکت‌کننده

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

با حجم اثر بالا، ارتقاء پیدا نمود. به نظر می‌رسد فهمیدن، به درک مسئله ارتباط داشته باشد و از این رو موجب بهتر شدن عملکرد ریاضی در دانش آموزان شده باشد. انور و جواندی همسو با این یافته مطرح نموده‌اند که توانمندسازی دانش‌آموزان در فهم و درک و استدلال‌یابی مسئله، موجب ارتقاء یادگیری می‌شود (۳). همانطور که در نتایج مربوط به زیر مقیاسهای استدلال ادراکی دیده می‌شود، شرکت‌کنندگان در زیر مقیاس ماتریس و تکمیل تصاویر که به نحوی نشان دهنده توان استدلال استنتاجی در هوش عملی می‌باشد (۳۵)، بهبود معنی‌داری نشان داده‌اند و این به نوبه خود احتمالا نشان دهنده ارتقاء درک فضایی و قدرت استدلال فضایی در دانش آموزان است. طبق منابع وکسلر، زیر مقیاس‌های استدلال ادراکی (استدلال کلمه، ماتریس و تکمیل تصاویر) به تنهایی برای یافتن آسیب‌های آهیانه‌ای و خصوصا آهیانه راست کاربرد ویژه دارند (۴۲). بنابراین بهبود نمرات در این زیر مقیاسها نیز می‌تواند نشاندهنده بهبود عملکردی در نواحی آهیانه و بخصوص آهیانه راست باشد که در درک کلیات و درک فضایی ریاضی درگیر است. این یافته با یافته‌های نیکولا و ایوانوویچی همسو می‌باشد (۳۰). عامل حافظه فعال وکسلر شامل زیر مقیاسهای ظرفیت عددی، توالی عددی و محاسبات، نیز بهبود معنی‌دار همراه با حجم اثر متوسط و بالا نشان داد. در این میان، توالی عددی و محاسبات در چهار شرکت‌کننده بهبود قابل توجه نشان داد. ضعف عملکردی در زیر مقیاسهای توالی عدد و محاسبات به خودی خود یکی از معیارهای تشخیص اختلال ریاضی و نقص توجه همراه با بیش فعالی است (۴۲) و به نظر می‌رسد بهبود آنها نیز بتواند معیاری برای توانمندسازی عملکرد ریاضی باشد. منابع بسیاری از این یافته حمایت می‌کنند که قشر آهیانه چپ، درگیر در محاسبات و حافظه عددی است و با تحریک این ناحیه می‌توان این توانمندی‌ها را در افراد بهبود بخشید (۳۰-۲۷). به نظر می‌رسد توانایی حافظه فعال در کنار ارتقاء عملکرد شرکت‌کنندگان در عامل سرعت پردازش، آن‌ها را در فرایند خواندن سؤال، درک مدل ریاضی، شناخت ویژگی‌های شکل‌های هندسی، درک معنای ریاضی و درک مفهوم محیط و مساحت، و مفهوم واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل واحدها، توانمندتر کرده باشد؛ چرا که دو عامل حافظه فعال و سرعت پردازش همراه با هم قادر خواهند بود فرد را برای یادگیری مطالب جدید و نگهداری مطالب قوی آماده نمایند. برای یادگیری هر مطلب جدید، فعالیت حافظه کاری و ارتقاء سرعت پردازش اطلاعات از مهمترین عوامل هستند (۳۱). طبق نتایج بدست آمده از نمرات ریاضی شرکت‌کنندگان از ترم قبل به عنوان خط پایه، تا امتحان پایان ترم بعدی به‌عنوان دوره پیگیری، به طور میانگین سه ونیم نمره در نمره امتحانات ریاضی ترم شرکت‌کنندگان افزایش دیده شد. این یافته از آن جهت ارزشمند است که دانش‌آموزان طی دوماه فقط تحت درمان تلفیقی با تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای و نوروفیدبک قرار گرفتند و پس از آن تا امتحان پایان ترم یا دوره پیگیری نیز، در هیچگونه دوره تقویت ریاضی شرکت ننمودند. لذا می‌توان پیشرفت آن‌ها را ناشی از دوره درمان دانست که از پایان دوره درمان تا سه ماه بعد پیگیری، کماکان فعالیت عملکردی در مغز آن‌ها را ثابت نگه داشته است. با بدست آوردن این یافته‌ها، نقدی بر کلاسهای تقویت ریاضی میتواند مطرح شود و آنهم این است که برای مغزی که ضعف عملکردی آهیانه ای در درک مدل، شناخت، درک معنا و مفهوم دارد، ارائه مکرر سوالات و تکرار نمی‌تواند راه حل بهتری باشد. چه بسا ممکن است دانش آموزان دوره‌های کلاسهای تقویتی را نیز به طور کامل طی کنند ولی باز هم در دوره امتحانات ریاضی، نتوانند نتایج دلخواه را بدست بیاورند و نتیجه این همه تلاش و زحمت، یاس و احساس ناکارآمدی برای دانش‌آموز باشد. می‌دانیم که برای ارتقاء عملکرد ریاضی، ارتقاء توان آهیانه‌ای شرط اول است. لذا پیش از درگیر کردن دانش‌آموز با مسائل متعدد، بهتر است توان عملکردی آهیانه‌ای را در آنان افزایش بدهیم. پژوهش حاضر دارای نقاط قوتی بود که از آن جمله می توانیم به حجم اثر بالا در ارائه نتایج و اندازه گیری‌های مکرر اشاره نماییم که توان یافته‌ها را افزایش داد. همچنین اندازه‌گیری و ارائه درمان به صورت فردی، دقت نتایج را افزایش داده است. در عین حال این پژوهش در هر مرحله از انجام مطالعه، تحت نظارت کمیته اخلاق وزارت بهداشت قرار گرفت که نتایج آن دارای کدهای اخلاقی قابل استناد می‌باشد. اما مانند هر مطالعه‌ای، مطالعه حاضر نیز با محدودیتهایی مواجه شد. مانند اینکه در مطالعه حاضر مقایسه هر دو جنس در عملکرد ریاضی به دلیل هزینه بالا امکان پذیر نبود. می‌دانیم که درمان‌های مبتنی بر نوروفیدبک و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغزی، مطالعات گران قیمتی هستند و پژوهشگران بدون داشتن اعتبارات پژوهشی، قادر به مطالعه بر روی نمونه‌های گسترده نخواهند بود.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

از طرفی، نتایج این مطالعه در حوزه ارتقاء حل‌مسئله ریاضی، حداقل نیازمند تصویر برداری با نشر پوزیترون است تا بتوان شدت عملکرد آهیانه‌ای را قبل و بعد از دوره درمان به وضوح بررسی نمود؛ که در این مطالعه ممکن نشد. لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی، امکان مقایسه دو جنس همراه با تصویر برداری مغزی را در ارتقاء عملکرد ریاضی مورد بررسی قرار دهند. در عین حال پیشنهاد می‌شود، دانش‌آموزان دارای ضعف در حل‌مسئله ریاضی، پیش از رسیدن به پایه دهم و مرحله انتخاب رشته، تحت درمان تلفیقی نوروفیدبک و تحریک الکتریکی مغز قرار بگیرند. این درمان ممکن است درمان گران قیمتی باشد، اما با توجه به اینکه کلاسهای تقویتی با وجود پرهزینه بودن، بدون تقویت و توانمند سازی مغزی احتمال موفقیت کمی دارند، بنابراین پیشنهاد می‌شود این درمان برای دانش آموزانی که ضعف در حل‌مسئله ریاضی دارند انجام شود؛ چه بسا ممکن است پس از تقویت و ارتقاء عملکرد مغزی، کلاسهای مدرسه به تنهایی کافی باشند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مراکز درمانی شهرستان کرج مدیران، مسئولین، درمانگران نوروتراپی و کلیه شرکت‌کنندگانی که در این پژوهش ما را یاری نمودند مراتب قدردانی و تشکر را داریم.

منابع

1. Sadook BJ, Sadook VA, Roeez P. Summary of Kaplan & Sadook psychiatry in behavioral sciences / psychiatry. Translated by F. Rezaee, Tehran: Arjmend, 2016; P. 385. [In Persian].

2. Shokuhiyekta M, Parand A. Learning disabilities. Tehran: Tymoorzadeh, 2006; P. 195. [In Persian].

3. Anwar A, Juandi D. Studies of level visual thinking in geometry. J Phys: Conf Ser 2020; 1470: 25-27.

4. Fuchs LS, Gilbert JK, Powell SR, Cirino PT, Fuchs D, Hamlett CL, et al. The role of cognitive processes, foundational math skill, and calculation accuracy and fluency in word-problem solving versus prealgebraic knowledge. Develop psyc 2016 Oct 27; 52(12): 2085–98.

5. Ansari D. The neural roots of mathematical expertise. Proc Nati Acad Sci 2016 May 3; 113(18): 4887-89.

6. Molina J, Guevara MA, Hernández M, Hidalgo RM, Cruz MA. EEG correlation during the solving of simple and complex logical-mathematical problems. Cog Affect Behav Neurosci 2019 Aug 19; 19: 1036-46.

7. Harmov AE, Maksimenko VA, Pisarchik AN. Physical principles of brain–computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states, J Phys Rep 2021 Mar 24; 918: 1-133.

8. Drigas A, Karyotaki M. Executive functioning and problem solving: A bidirectional relation. Int J Eng Ped 2019 Apr 11; 9(3): 76-98.

9. Kemmerer SK, Sack AT, de Graaf TA, ten Oever S, De Weerd P, et al. Frequency-specific transcranial neuromodulation of alpha power alters visuospatial attention performance. Brain Res 2022 May 1; 1782(14734): 1-15.

10. Perinelli A, Assecondi S, Tagliabue CF, Mazza V. Power shift and connectivity changes in healthy aging during resting-state EEG. NeuroImage 2022 Apr 25; Inpress.

11. Keeser D, Padberg F, Reisinger E, Pogarell O, Kirsch V, Palm U, et al. (2013). Prefrontal direct current stimulation modulates resting EEG and event-related potentials in healthy subjects: a standardized low-resolution tomography (SLORETA) study. Neuroimage 2011 Mar 15; 55 (2): 644-57.

12. Westwood SJ, Criaud M, Lam SL, Lukito S, Wallace-Hanlon S, Kowalczyk OS, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with cognitive training in adolescent boys with ADHD: a double-blind, randomised, sham-controlled trial. Psychol Med 2021 Jul 6; 17:1-16.

13. Abhang PA, Gawali BW, Mehrotra SC. Introduction to EEG- and speech-based emotion recognition. Amsterdam: Elsevier, 2016 Mar 22; P. 140.

14. Gomez-Pilar J, Lubeiro A, Poza J, Hornero R, Ayuso M, Valcárcel C, Haidar K, Blanco JA, Molina V. Functional EEG network analysis in schizophrenia: Evidence of larger segregation and deficit of modulation, Prog Neuro-Psycho Biol Psychi 2017 Jun 12; 76: 116-23.

15. Wienke AS, Basar-Eroglu C, Schmiedt-Fehr C, Mathes B. Novelty N2-P3a complex and theta oscillations reflect improving neural coordination within frontal brain networks during adolescence. Front Behav Neurosci 2018 Sep 27; 12(218): 1-14.

16. Dimitriadis SI, Sun Y, Thakor NV, Bezerianos A. Causal interactions between frontal–parietal-occipitalα2 predict performance on a mental arithmetic task. Front Hum Neurosci 2016 Sep 14 10: 1-17.

17. Rodríguez-Larios J, Pascal F, Achermann P, Shisei T, Kaat A. From thoughtless awareness to effortful cognition: alpha-theta cross-frequency dynamics in experienced meditators during meditation, rest

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]

an arithmetic. Sci Rep May 10; 10(5419), 1-11.

18. Vernon D. Using virtual reality to test for telepathy: A proof-of-concept study. J Sci Expl 2020 Dec 15; 34(4): 683-702.

19. Brohl F, Kayser C. Delta/theta band EEG differentially tracks low and high frequency speech-derived envelopes. NeuroImage 2021 Jun 12; 233(117958): 1-11.

20. Hinterberger T, Fürnrohr E. The sensorium: Psychophysiological evaluation of responses to a multimodal neurofeedback. Appl Psychophysi Biofeedback 2016 Sep 41; 41(3): 315-29.

21. Vernon,D. Dark cognition: Evidence of psi and its implications for consciousness. London: Taylor & Francis, 2020; p. 210.

22. Sherlin LH, Larson NC, Sherlin RM. Developing a performance brain training™ approach for baseball: a process analysis with descriptive data. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2013 Mar 22; 38(1): 29-44.

23. Yu X, Cohen ZP, Tsuchiyagaito A, Cochran G, Aupperle, RL, et al. Neurofeedback-Augmented Mindfulness Training Elicits Distinct Responses in the Subregions of the Insular Cortex in Healthy Adolescents. Brain Sci. 2022 Mar 9; 12(363): 1-26.

24. Biel AL, Minarik T, Sauseng P. EEG cross-frequency phase synchronization as an index of memory matching in visual search. NeuroImage 2021 Jul 15; 235(117971): 1-15.

25. Arjmandnia AA, Asbaghi M, Afrooz G, Rahmanian M. The effect of transcranial direct current stimulation on working memory of math-disability children. J Learn Dis 2015 Oct 12; 6(1): 7-25. [In Persian].

26. Rajaipoor MS, Saeedmanesh M. The effectiveness of transcranial brain stimulation using direct electric current (tDCS) on the memory of students with special learning disabilities. J Neuropsy 2017 Sum; 4(13):67-84. [In Persian].

27. Rahimi M, Heidari A, Naderi F, Makvandi B, Bakhtiyarpour, S. The effectiveness of cognitive training method and transcranial direct current stimulation (tDCS) on the metamemory in the students with special learning disorders. Int J Health Stu 2019 May 24; 5(3): 42-48.

28. Holmes J, Bryant A. Protocol for a transdiagnostic study of children with problems of attention. BMC Pediatr 2019 Jan 8; 19(10): 1-11.

29. Byrne A, O›Dea RD, Forrester M, Ross J, Coombes S. Next-generation neural mass and field modeling. J Neurophysio 2020 Feb 14; 123(2): 726-42.

30. Nicolae IE, Ivanovici M. Color texture image complexity EEG-sensed human brain perception vs. computed measures. J Appl Sci 2021 May 10; 11(4306): 1-23.

31. Roohanifar M, Mohsenpoor M, Ghooya Z. The source of students› mistakes in solving math literacy problems. J Edu Inno 2018 Mar 19; 17(72): 117-36. [In Persian].

32. Piri M, Mahmoodi S. Explain the academic decline based on the documents and views of the members of the councils of teachers of Izeh city. J Edu Inno 2014 Oct 14; 14(55): 87-112. [In Persian].

33. Cassetta BD, Goghari VM. Working memory and processing speed training in schizophrenia: study protocol for a randomized controlled trial. J Trial 2016 Jan 26; 17: 49-65.

34. Redick TS, Shipstead Z, Wiemers EA, Melby-Lervag M, Hulme C. What's working in working memory training? An educational perspective. Edu Psych Rev 2015 Dec 1; 27(4): 617–33.

35. Wechsler D. WISC - IV: Administration and scoring manual. A San Antonio: The psychological corporation, 2003a; P. 247.

36. Wechsler D. WISC - IV technical and interpretation manual. San Antonio: The Psychological Corporation, 2003b; P. 100.

37. Sadeghi A, Rabiee M, Abedi MR. Validation of the fourth Wechsler children›s intelligence scale. J Transform Psy Iran Psy 2010 Sum; 7(28): 377-86. [In Persian].

38. Shiozawa P, Fregni F, Bensenor IM, Lotufo PA, Berlim MT, Daskalakis JZ, et al. Transcranial direct current stimulation for major depression: an updated systematic review and meta-analysis. Int J Neuropsychopharma 2014 Apr 10; 17(9): 1443-52.

39. Tazoe T, Endoh T, Kitamura T, Ogata T. Polarity specific effects of transcranial direct current stimulation on inter-hemispheric inhibition. PLOS ONE 2014 Dec 5; 9(12): e114244.

40. Hammond D. What is neuro-feedback: An update? J Neurother 2011 Nov 30; 15: 305-36.

41. Tillman TC, Burns MK. Evaluating educational interventions: Single-case design for measuring response to intervention. Child & Family Behav Ther 2012 Jul 5; 34(3): 260-67.

42. Marnath GG. Psychological assessment guide for clinical psychologists, counselors, and psychiatrists. (Translated by Hassan Pasha Sharifi and Mohammad Reza Nikkhah, 2004). Tehran: Sokhan, 2003; P. 390. [In Persian].

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-06-30]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.20]