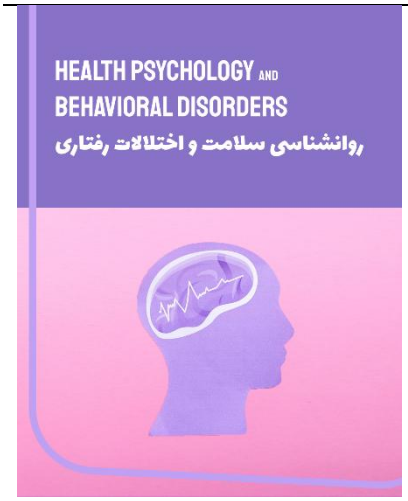
اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم (tDCS) بر ارتقای تعاملات اجتماعی در کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال اوتیسم با کارکرد بالا

تاریخ ارسال: ۱۴۰۵/۰۳/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۰ تاریخ چاپ اولیه: ۱۴۰۵/۰۷/۲۲ تاریخ چاپ نهایی: ۱۴۰۶/۰۵/۰۱

چکیده

هدف پژوهش حاضر تعیین اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم (tDCS) بر ارتقای نمره کل تعاملات اجتماعی و مؤلفه‌های تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب در کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا بود. پژوهش حاضر یک مطالعه نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری یک‌ماهه همراه با گروه کنترل در فهرست انتظار بود. جامعه آماری شامل کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا مراجعه‌کننده به مراکز تخصصی درمان و توانبخشی اوتیسم شهر تهران در فاصله آبان تا دی‌ماه ۱۴۰۴ بود. تعداد ۳۰ کودک واجد شرایط به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب و به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل، هر یک شامل ۱۵ نفر، جایگزین شدند. گروه آزمایش طی چهار هفته ۱۰ جلسه تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم با شدت ۱ میلی‌آمپر و مدت ۲۰ دقیقه دریافت کرد؛ الکترود آند بر روی قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی چپ در ناحیه F3 قرار گرفت. تعاملات اجتماعی با استفاده از پرسشنامه نیمرخ مهارت‌های اجتماعی اوتیسم در سه مرحله ارزیابی شد. داده‌ها با تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. نتایج نشان داد اثر تعاملی گروه × زمان برای نمره کل تعاملات اجتماعی معنادار بود ($F(2,56)=58.96$، $p<0.001$، $\eta p^2=0.678$). این اثر برای مؤلفه تبادل اجتماعی ($F(2,56)=39.47$، $p<0.001$، $\eta p^2=0.585$)، مشارکت/اجتناب اجتماعی ($F(2,56)=35.91$، $p<0.001$، $\eta p^2=0.562$) و رفتارهای اجتماعی نامطلوب ($F(2,56)=27.88$، $p<0.001$، $\eta p^2=0.499$) نیز معنادار بود. مقایسه‌های بونفرونی نشان داد در گروه آزمایش، تفاوت پیش‌آزمون با پس‌آزمون و پیش‌آزمون با پیگیری برای نمره کل و هر سه مؤلفه معنادار بود ($p<0.001$)، در حالی که تفاوت پس‌آزمون و پیگیری معنادار نبود؛ در گروه کنترل نیز هیچ‌یک از تغییرات زمانی معنادار نبود. یافته‌ها نشان داد که tDCS با تحریک آندی قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی چپ می‌تواند به بهبود معنادار و نسبتاً پایدار تعاملات اجتماعی و ابعاد آن در کودکان پسر مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا منجر شود؛ بنابراین این روش می‌تواند به‌عنوان یک مداخله مکمل در کنار برنامه‌های توانبخشی و آموزشی مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژگان: *تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم؛ اختلال طیف اوتیسم؛ تعاملات اجتماعی؛ مهارت‌های اجتماعی؛ کودکان؛ اوتیسم با کارکرد بالا*



طناز یوسفی[۱]، سقا افراخته[۲*]، مهران آزادی[۳]

۱. دانشجوی دکتری روان‌شناسی، گروه روان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲. استادیار،گروه روانشناسی، دانشگاه امام حسین(ع) ، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول:
S.afrakhte@ihuo.ac.ir

شیوه استناددهی: یوسفی، طناز، افراخته، سقا، و آزادی، مهران. (۱۴۰۶). اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم (tDCS) بر ارتقای تعاملات اجتماعی در کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال اوتیسم با کارکرد بالا. *روانشناسی سلامت و اختلالات رفتاری*، ۵(۳)، ۲۲-۱.

© ۱۴۰۶ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

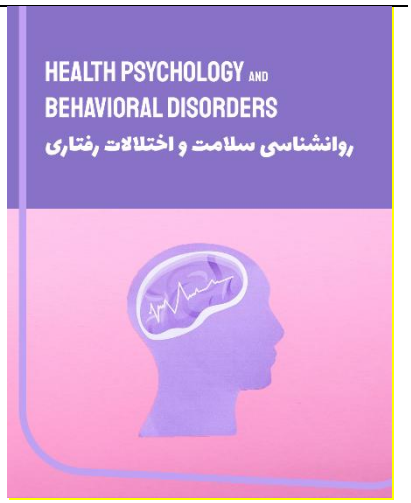
The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Enhancing Social Interactions in 6- to 10-Year-Old Boys with High-Functioning Autism Spectrum Disorder

Submit Date:	Revise Date:	Accept Date:	Initial Publish Date:	Final Publish Date:
2026-06-13	2026-10-09	2026-10-12	2026-10-14	2027-07-23

Abstract

This study aimed to determine the effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) in improving overall social interaction and its components, including social reciprocity, social participation/avoidance, and negative or inappropriate social behaviors, in 6- to 10-year-old boys with high-functioning autism spectrum disorder. This quasi-experimental study employed a pretest-posttest design with a one-month follow-up and a waiting-list control group. The statistical population consisted of 6- to 10-year-old boys with high-functioning autism spectrum disorder attending specialized autism treatment and rehabilitation centers in Tehran between November 2025 and January 2026. Thirty eligible children were selected through purposive sampling and randomly assigned to an intervention group and a control group, with 15 participants in each. The intervention group received 10 tDCS sessions over four weeks, with a current intensity of 1 mA for 20 minutes per session. The anodal electrode was placed over the left dorsolateral prefrontal cortex at the F3 site. Social functioning was assessed using the Autism Social Skills Profile at pretest, posttest, and one-month follow-up. Data were analyzed using mixed repeated-measures analysis of variance and Bonferroni-adjusted pairwise comparisons in SPSS version 26. The group × time interaction was significant for the total social interaction score, $F(2,56)=58.96$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.678$. Significant interaction effects were also found for social reciprocity, $F(2,56)=39.47$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.585$; social participation/avoidance, $F(2,56)=35.91$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.562$; and negative/inappropriate social behaviors, $F(2,56)=27.88$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.499$. Bonferroni comparisons showed significant improvements from pretest to posttest and from pretest to follow-up in the intervention group for the total score and all three components ($p<0.001$), whereas posttest-to-follow-up differences were not significant. No significant changes were observed in the control group. Anodal tDCS over the left dorsolateral prefrontal cortex produced significant and relatively stable improvements in overall social interaction and its components in boys with high-functioning autism spectrum disorder, suggesting that tDCS may be considered a complementary intervention alongside educational and rehabilitation programs.

Keywords: *Transcranial direct current stimulation; Autism spectrum disorder; Social interaction; Social skills; Children; High-functioning autism*



Tanaz Yousefi[1], Sagha Afrakhteh[2]*, Mehran Azadi[3]

1. PhD Candidate in Psychology, Department of Psychology, NT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Psychology, Imam Hossein University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Psychology, NT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email: S.afrakhte@ihuo.ac.ir

How to cite: Yousefi, T., Afrakhteh, S., & Azadi, M. (2027). The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Enhancing Social Interactions in 6- to 10-Year-Old Boys with High-Functioning Autism Spectrum Disorder. *Health Psychology and Behavioral Disorders*, *5*(3), 1-22.

© 2027 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC4.0) License.

مقدمه

اختلال طیف اوتیسم یکی از اختلالات عصب‌رشدی پیچیده و ناهمگون است که ویژگی‌های اصلی آن را می‌توان در دشواری‌های پایدار در ارتباط و تعامل اجتماعی، همراه با الگوهای محدود، تکراری و نسبتاً انعطاف‌ناپذیر رفتار، علایق یا فعالیت‌ها مشاهده کرد. این اختلال از دوران کودکی آغاز می‌شود و بسته به شدت نشانه‌ها، سطح توانایی‌های شناختی و زبانی، شرایط خانوادگی و کیفیت مداخلات دریافت‌شده، می‌تواند مسیرهای رشدی متفاوتی را در کودکان ایجاد کند. در سال‌های اخیر، افزایش شناسایی زودهنگام و بهبود روش‌های تشخیصی موجب شده است که گروه گسترده‌تری از کودکان دارای ویژگی‌های طیف اوتیسم شناسایی شوند و در نتیجه، نیاز به مداخلات اثربخش، قابل تکرار و مبتنی بر شواهد برای ارتقای عملکرد آنان بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. اگرچه در برخی کودکان مبتلا به اوتیسم با کارکرد بالا، توانایی‌های شناختی و زبانی در محدوده متوسط یا بالاتر قرار دارد، برخورداری از چنین توانایی‌هایی لزوماً به معنای عملکرد مناسب اجتماعی نیست؛ زیرا این کودکان ممکن است همچنان در درک نشانه‌های اجتماعی، هماهنگی متقابل در ارتباط، آغاز و حفظ تعامل، شناخت مقاصد دیگران، انعطاف در موقعیت‌های بین‌فردی و مشارکت مؤثر در روابط اجتماعی با مشکلات قابل‌توجهی روبه‌رو باشند. بررسی‌های جدید نیز نشان داده‌اند که تنوع فنوتیپی اوتیسم بسیار گسترده است و ویژگی‌های رفتاری و شناختی کودکان باید در قالب مجموعه‌ای از عوامل عصبی، رشدی و محیطی در نظر گرفته شود (Dell'Osso, 2025; Reddy & J, 2023; Zhai et al., 2023). در همین راستا، توجه به کودکان دارای عملکرد شناختی بالاتر اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بخشی از مشکلات آنان ممکن است به دلیل مهارت‌های کلامی یا تحصیلی نسبتاً مناسب کمتر آشکار باشد و در نتیجه نیازهای اجتماعی آنان کمتر از حد واقعی مورد توجه قرار گیرد (Fisher et al., 2026; Kiera, 2025; Tezcan et al., 2025).

تعامل اجتماعی یکی از اساسی‌ترین حوزه‌های رشد در دوران کودکی محسوب می‌شود و نقشی تعیین‌کننده در شکل‌گیری مهارت‌های ارتباطی، یادگیری اجتماعی، سازگاری تحصیلی، مشارکت در فعالیت‌های گروهی و ایجاد روابط بین‌فردی ایفا می‌کند. تعامل اجتماعی موفق مستلزم مجموعه‌ای از فرایندهای هماهنگ از جمله توجه به محرک‌های اجتماعی، تفسیر حالات چهره و حرکات دیگران، درک قصد و دیدگاه طرف مقابل، پاسخ‌دهی متقابل، آغاز مناسب گفت‌وگو، رعایت نوبت در تعامل و تنظیم رفتار متناسب با بافت اجتماعی است. در کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم، اختلال در یک یا چند مورد از این فرایندها می‌تواند موجب شود که کودک در موقعیت‌های طبیعی مدرسه، خانواده یا گروه همسالان، فرصت‌های کمتری برای ایجاد و حفظ روابط اجتماعی به دست آورد. یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که کیفیت روابط با همسالان و فراهم بودن فرصت تعامل واقعی با دیگر کودکان می‌تواند نقش مهمی در رشد اجتماعی کودکان دارای اوتیسم داشته باشد و محدودیت در این حوزه می‌تواند چرخه‌ای از کاهش مشارکت و کاهش فرصت تمرین مهارت‌های اجتماعی ایجاد کند (Karna & Stefaniuk, 2024). از سوی دیگر، ویژگی‌های پردازش حسی نیز با کیفیت تعامل اجتماعی این کودکان ارتباط دارد و تفاوت در واکنش به محرک‌های محیطی می‌تواند بر میزان مشارکت کودک در موقعیت‌های اجتماعی اثرگذار باشد (Zhai et al., 2023). عوامل خانوادگی و شیوه‌های تعاملی والدین نیز بخشی از زمینه رشد اجتماعی کودک را تشکیل می‌دهند و نشان داده شده است که وضعیت هیجانی و الگوهای فرزندپروری می‌توانند با مشکلات رفتاری و سازگاری کودکان مبتلا به اوتیسم ارتباط داشته باشند (Lin et al., 2023). بنابراین، تعاملات اجتماعی را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان یک رفتار منفرد در نظر گرفت، بلکه این سازه حاصل تعامل چندین فرایند شناختی، عصب‌شناختی، خانوادگی و محیطی است.

اهمیت تعاملات اجتماعی زمانی بیشتر آشکار می‌شود که پیامدهای بلندمدت مشکلات این حوزه مورد توجه قرار گیرد. کودکانی که در ایجاد ارتباط متقابل، ورود به جمع، حفظ گفت‌وگو، فهم قواعد نانوشته روابط اجتماعی و مشارکت در فعالیت‌های مشترک مشکل دارند، ممکن است فرصت‌های کمتری برای یادگیری طبیعی از همسالان، کسب استقلال اجتماعی و گسترش شبکه روابط خود داشته باشند. از این منظر، بهبود مهارت‌های اجتماعی یکی از اهداف اساسی برنامه‌های توانبخشی و روان‌شناختی ویژه کودکان دارای اختلال طیف اوتیسم محسوب می‌شود.

پژوهش‌های انجام‌شده درباره آموزش شناخت اجتماعی و نظریه ذهن نشان داده‌اند که مداخلات هدفمند می‌توانند کیفیت تعامل اجتماعی و برخی ابعاد درک اجتماعی کودکان مبتلا به اوتیسم را بهبود دهند (Jafari & Yousefi, 2023). همچنین آموزش مهارت‌های تاب‌آوری و برنامه‌های مبتنی بر مشارکت فعال کودک در موقعیت‌های اجتماعی به‌عنوان رویکردهایی برای تقویت تعاملات اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Jouy, 2025). برنامه‌های هنری تعاملی نیز می‌توانند بستری ساختاریافته برای تماس اجتماعی، مشارکت مشترک و تمرین رفتارهای متقابل فراهم کنند و یافته‌های جدید از ظرفیت این نوع برنامه‌ها برای ارتقای مهارت‌های اجتماعی کودکان مبتلا به اوتیسم حمایت کرده‌اند (Inci & Saglam, 2025). با وجود اهمیت این مداخلات، میزان پاسخ‌دهی کودکان به روش‌های آموزشی و رفتاری همواره یکسان نیست و برخی کودکان حتی پس از دریافت خدمات توانبخشی متعارف همچنان دشواری‌های قابل‌توجهی در عملکرد اجتماعی نشان می‌دهند. این مسئله موجب شده است که در کنار مداخلات رفتاری و شناختی، توجه پژوهشگران به روش‌هایی معطوف شود که بتوانند با تأثیر مستقیم‌تر بر شبکه‌های عصبی مرتبط با پردازش اجتماعی، آمادگی مغز را برای یادگیری و تغییر افزایش دهند.

از منظر عصب‌شناختی، تعامل اجتماعی نتیجه فعالیت یک ناحیه منفرد مغزی نیست، بلکه حاصل همکاری شبکه گسترده‌ای از ساختارهای قشری و زیرقشری است که در پردازش محرک‌های اجتماعی، تشخیص برجستگی اطلاعات، درک حالات دیگران، کنترل پاسخ، تصمیم‌گیری اجتماعی و تنظیم رفتار نقش دارند. مطالعات تصویربرداری و عصب‌شناختی نشان داده‌اند که در اختلال طیف اوتیسم، برخی الگوهای ساختاری و عملکردی شبکه‌های مرتبط با پردازش اجتماعی با افراد دارای رشد معمول متفاوت است (Herrington et al., 2017). به‌ویژه، قشر پیش‌پیشانی به دلیل نقش آن در عملکردهای اجرایی، خودتنظیمی، تصمیم‌گیری، انعطاف شناختی و هماهنگی رفتار با شرایط محیطی، یکی از مناطق مهم در مطالعه مبانی عصبی عملکرد اجتماعی است. در کنار آن، اتصال عملکردی میان قشر پیش‌پیشانی و سایر بخش‌های شبکه مغز اجتماعی، از جمله مناطق گیجگاهی و آهیانه‌ای، در توانایی استنباط حالات ذهنی دیگران و تنظیم رفتار بین‌فردی نقش دارد. این شواهد موجب شده است که تعدیل فعالیت این شبکه‌ها به‌عنوان یکی از مسیرهای بالقوه برای ارتقای فرایندهای مرتبط با تعامل اجتماعی در افراد دارای اوتیسم مورد بررسی قرار گیرد. در این چارچوب، روش‌های تحریک غیرتهاجمی مغز، به‌ویژه تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم، در سال‌های اخیر مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته‌اند.

تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم یا tDCS یک روش غیرتهاجمی تعدیل عصبی است که در آن جریان الکتریکی ضعیف و پیوسته از طریق الکترودهایی که بر سطح جمجمه قرار می‌گیرند، به مناطق هدف مغز منتقل می‌شود. این روش برخلاف تکنیک‌هایی که مستقیماً پتانسیل عمل ایجاد می‌کنند، عمدتاً از طریق تعدیل آستانه تحریک‌پذیری غشای نورونی و تغییر احتمال فعال‌شدن نورون‌ها عمل می‌کند. به‌طور کلی، تحریک آندی می‌تواند تحریک‌پذیری ناحیه هدف را افزایش دهد، در حالی که تحریک کاتدی در بسیاری از شرایط با کاهش نسبی تحریک‌پذیری همراه است؛ هرچند پیامد دقیق تحریک به شدت جریان، مدت تحریک، محل قرارگیری الکترودها، ویژگی‌های فردی و وضعیت شبکه عصبی بستگی دارد. یکی از ویژگی‌های مهم tDCS امکان استفاده مکرر از آن در چند جلسه و ایجاد تغییرات تجمعی در انعطاف‌پذیری عصبی است. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تحریک چندجلسه‌ای می‌تواند پیامدهایی پایدارتر از یک جلسه منفرد ایجاد کند و آثار آن ممکن است پس از پایان دوره تحریک نیز تا مدتی باقی بماند (Aparicio et al., 2019). قابلیت اجرای نسبتاً ساده، غیرتهاجمی بودن، هزینه کمتر نسبت به بسیاری از روش‌های تحریک مغزی و امکان ترکیب با برنامه‌های شناختی و رفتاری از عواملی هستند که استفاده پژوهشی از این روش را در جمعیت‌های مختلف افزایش داده‌اند (Akbari, 2018; Narimani et al., 2017; Soqandi et al., 2024; Zoghipaydar et al., 2022).

یکی از مناطق پرکاربرد برای tDCS، قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی است؛ ناحیه‌ای که با کنترل اجرایی، تنظیم شناختی، انتخاب پاسخ، پردازش بازخورد و سازگاری رفتار با الزامات موقعیت ارتباط دارد. پژوهش‌های انجام‌شده در جمعیت‌های مختلف نشان داده‌اند که تحریک این ناحیه می‌تواند فرایندهای شناختی و رفتاری متعددی را تحت تأثیر قرار دهد (Garcia et al., 2020; Gibson et al., 2021; Wu et al.,

2022). مطالعات آزمایشی همچنین نشان داده‌اند که تحریک قشر پیش‌پیشانی می‌تواند نحوه پردازش بازخوردهای اجتماعی و واکنش فرد به ارزیابی‌های بین‌فردی را تعدیل کند؛ موضوعی که ارتباط بالقوه tDCS با عملکرد اجتماعی را تقویت می‌کند (Allaert et al., 2020). در سطح رفتار اجتماعی نیز مرور فراتحلیلی پژوهش‌های tDCS نشان داده است که تعدیل مناطق پیش‌پیشانی می‌تواند بر برخی جنبه‌های رفتارهای اجتماعی و تصمیم‌گیری‌های بین‌فردی اثر بگذارد و اندازه و جهت این تأثیر تا حد زیادی تابع محل تحریک و طراحی آزمایشی است (Yuan et al., 2021). نتایج مطالعات کنترل‌شده در حوزه‌های مختلف نیز نشان می‌دهد که همراه‌کردن tDCS با تکالیف شناختی یا برنامه‌های آموزشی می‌تواند عملکرد شبکه‌های درگیر در کنترل رفتاری و پردازش اجتماعی را تعدیل کند (Clarke et al., 2020; Sergiou et al., 2020; Smits et al., 2021). این یافته‌ها از این فرض حمایت می‌کنند که tDCS می‌تواند نه تنها بر فرایندهای شناختی پایه، بلکه بر عملکردهایی که در رفتار اجتماعی پیچیده نقش دارند نیز اثرگذار باشد.

در زمینه اختلال طیف اوتیسم، کاربرد tDCS هنوز نسبت به مداخلات رفتاری سابقه کوتاه‌تری دارد، اما یافته‌های حاصل از مطالعات اولیه و آزمایش‌های کنترل‌شده امیدوارکننده بوده‌اند. با توجه به اینکه اوتیسم با تفاوت‌هایی در تحریک‌پذیری قشری، سازمان شبکه‌های عصبی و فرایندهای انعطاف‌پذیری مغز همراه دانسته شده است، استفاده از تعدیل عصبی ممکن است زمینه مناسبی برای تسهیل عملکرد شبکه‌های مرتبط با شناخت و تعامل اجتماعی فراهم سازد. در یک مطالعه بر کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم، تحریک پیش‌پیشانی با tDCS موجب تغییرات معناداری در نظریه ذهن، تنظیم هیجانی و عملکردهای هیجانی ـ رفتاری شد که نشان‌دهنده ظرفیت تعدیل شبکه‌های پیچیده شناخت اجتماعی در کودکان است (Zemestani et al., 2022). در پژوهشی دیگر، مقایسه تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم و توانبخشی شناختی نشان داد که tDCS می‌تواند بر برخی عملکردهای اجرایی کودکان مبتلا به اوتیسم تأثیر مثبت داشته باشد (Shamsi Halasu et al., 2023). این مسئله از آن جهت اهمیت دارد که عملکردهای اجرایی، از جمله انعطاف شناختی، کنترل پاسخ و سازمان‌دهی رفتار، برای تعامل اجتماعی مؤثر ضروری هستند. وقتی کودک بتواند رفتار خود را متناسب با تغییر موقعیت تعدیل کند، به نشانه‌های بین‌فردی پاسخ دهد و بین گزینه‌های رفتاری مختلف انتخاب مناسب‌تری داشته باشد، احتمال موفقیت او در تعاملات اجتماعی نیز افزایش می‌یابد.

شواهد مربوط به شبکه‌های اختصاصی‌تر شناخت اجتماعی نیز اهمیت tDCS را در این حوزه برجسته کرده‌اند. محل اتصال گیجگاهی ـ آهیانه‌ای یکی از مناطق مهم در استنباط حالات ذهنی دیگران و فرایندهای ذهن‌خوانی یا mentalizing محسوب می‌شود. پژوهش Padrón و همکاران نشان داد که تحریک آندی چندجلسه‌ای اتصال گیجگاهی ـ آهیانه‌ای راست می‌تواند عملکرد فرایندهای ذهنی‌سازی را در بزرگسالان دارای صفات اوتیستیک بهبود دهد (Padrón et al., 2021). اگرچه این مطالعه بر جمعیت بزرگسال انجام شده است، نتایج آن از نظر سازوکار عصبی اهمیت دارد؛ زیرا نشان می‌دهد تحریک غیرتهاجمی نواحی مرتبط با شناخت اجتماعی قابلیت تغییر عملکردهایی را دارد که در تعامل موفق با دیگران نقش بنیادی دارند. از سوی دیگر، مطالعات انجام‌شده بر قشر پیش‌پیشانی نیز نشان می‌دهند که تغییر تحریک‌پذیری این منطقه می‌تواند با تغییر در پردازش اجتماعی همراه شود (Allaert et al., 2020; Yuan et al., 2021). بر این اساس، می‌توان انتظار داشت که تحریک هدفمند قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی، به‌ویژه در کودکان دارای عملکرد شناختی مناسب که ظرفیت مشارکت و یادگیری بالاتری دارند، بتواند شرایط عصبی مطلوب‌تری برای پاسخ‌دهی متقابل و مشارکت اجتماعی ایجاد کند.

در کنار شواهد مستقیم مربوط به اوتیسم، پژوهش‌های tDCS در سایر گروه‌های بالینی و رشدی نیز اطلاعات مهمی درباره قابلیت تعدیل شبکه‌های پیش‌پیشانی فراهم کرده‌اند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم می‌تواند بر عملکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان اثرگذار باشد و در برخی مطالعات، بهبود حافظه کاری و بازداری پاسخ پس از مداخلات مبتنی بر tDCS مشاهده شده است (Fattahi Andebil et al., 2018). همچنین مطالعات بالینی متعدد نشان داده‌اند که پیامدهای tDCS محدود به یک حوزه شناختی خاص نیست و این روش توانایی ایجاد تغییر در شبکه‌های مرتبط با پردازش شناختی و تنظیم رفتار را دارد (Akbari, 2018; Jahedi Delivand et al., 2024; Wu et al., 2022). پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تحریک پیش‌پیشانی نشان داده‌اند که اثر tDCS ممکن

است با ویژگی‌های پایه فرد، عملکرد اولیه شبکه عصبی و نوع تکلیف مورد استفاده تعامل داشته باشد (Gibson et al., 2021). بنابراین، تعیین گروه سنی مشخص، کنترل سطح عملکرد شناختی و استانداردسازی محل، شدت و تعداد جلسات تحریک برای تفسیر دقیق نتایج اهمیت زیادی دارد.

از سوی دیگر، مطالعات جدید بر ضرورت توجه به ناهمگونی اوتیسم تأکید دارند. کودکان دارای عملکرد بالا ممکن است به دلیل توانایی کلامی و شناختی مناسب‌تر، ظرفیت بیشتری برای بهره‌گیری از تغییرات ایجادشده در شبکه‌های عصبی و انتقال آن به رفتارهای واقعی روزمره داشته باشند. با این حال، همین گروه نیز ممکن است در روابط همسالان، مشارکت در فعالیت‌های جمعی و تطبیق رفتار با نشانه‌های اجتماعی با دشواری‌های پایدار مواجه باشد. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که ابعاد گوناگون فنوتیپ اوتیسم با الگوهای متفاوتی از عملکرد بین‌فردی همراه‌اند و نمی‌توان صرف برخورداری از توانایی شناختی بالاتر را معادل عملکرد اجتماعی مطلوب در نظر گرفت (Moise et al., 2025; Tan et al., 2024). همچنین با افزایش سن و پیچیده‌تر شدن محیط اجتماعی، نیاز به تفسیر سریع‌تر نشانه‌ها، پاسخ‌دهی انعطاف‌پذیر و هماهنگی با دیگران افزایش می‌یابد؛ ازاین‌رو، مداخله در سال‌های کودکی، پیش از تثبیت الگوهای ناکارآمد تعامل، می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. در این زمینه، بررسی پاسخ کودکان ۶ تا ۱۰ ساله به مداخلات تعدیل عصبی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره امکان بهره‌گیری از انعطاف‌پذیری بالاتر مغز در این مرحله رشدی فراهم سازد.

همچنین باید توجه داشت که کارکرد اجتماعی کودک مبتلا به اوتیسم در بستری گسترده‌تر از روابط خانوادگی، مدرسه و محیط توانبخشی شکل می‌گیرد. مطالعات نشان داده‌اند که شرایط والدین و کیفیت تعاملات خانواده می‌تواند با رفتار و سازگاری کودک ارتباط داشته باشد (Lin et al., 2023; Tezcan et al., 2025; Yan & Abdullah, 2025). افزون بر آن، تجربه کودک در محیط مدرسه و کیفیت مشارکت وی در موقعیت‌های روزمره می‌تواند فرصت‌های متفاوتی برای تمرین و تثبیت مهارت‌های اجتماعی ایجاد کند (Fisher et al., 2026). از این منظر، تغییر در شبکه‌های عصبی تنها زمانی از نظر بالینی اهمیت دارد که بتواند خود را در رفتارهای قابل مشاهده، مانند آغاز تعامل، پاسخ متقابل، مشارکت در فعالیت‌های جمعی، کاهش کناره‌گیری اجتماعی و استفاده مناسب‌تر از مهارت‌های ارتباطی نشان دهد. به همین دلیل، استفاده از ابزارهایی مانند نیمرخ مهارت‌های اجتماعی اوتیسم که ابعاد مختلف تعامل اجتماعی را از دیدگاه والدین ارزیابی می‌کند، می‌تواند مکمل مناسبی برای بررسی پیامدهای مداخلات عصبی باشد و امکان ارزیابی تغییرات در رفتار واقعی کودک را فراهم کند.

با وجود گسترش مطالعات tDCS، هنوز چند خلأ مهم در ادبیات پژوهشی وجود دارد. نخست آنکه بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های تحریک فراجمجمه‌ای بر بزرگسالان یا بر فرایندهای شناختی منفرد متمرکز بوده‌اند و تعداد مطالعاتی که به‌طور مستقیم تغییرات تعاملات اجتماعی کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم را بررسی کرده‌اند محدود است. دوم، در بسیاری از مطالعات، تأثیر مداخله تنها بلافاصله پس از پایان تحریک بررسی شده و اطلاعات کمتری درباره ماندگاری آثار در دوره‌های پیگیری وجود دارد. اهمیت پیگیری از آن جهت است که تغییر کوتاه‌مدت در نمرات یک مقیاس لزوماً نشان‌دهنده اثر پایدار مداخله نیست و ارزش بالینی یک روش زمانی افزایش می‌یابد که بهبود ایجادشده پس از خاتمه جلسات نیز تا حدی حفظ شود. پژوهش‌های طولی در سایر کاربردهای tDCS نشان داده‌اند که برخی آثار حاصل از تحریک می‌توانند در دوره‌های پس از مداخله پایدار بمانند (Aparicio et al., 2019). سوم، بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های داخلی tDCS بر متغیرهایی غیر از عملکرد اجتماعی کودکان اوتیستیک متمرکز بوده‌اند (Akbari, 2018; Fattahi Andebil et al., 2018; Jahedi et al., 2024; Narimani et al., 2017; Soqandi et al., 2024; Zoghipaydar et al., 2022) و بنابراین شواهد بومی درباره تأثیر مستقیم این روش بر تعامل اجتماعی کودکان دارای اوتیسم با کارکرد بالا همچنان محدود است.

افزون بر این، نتایج مطالعات موجود نشان می‌دهند که پیامدهای tDCS ممکن است به عواملی نظیر محل تحریک، قطبیت الکترود، شدت جریان، تعداد جلسات، سن شرکت‌کنندگان و ویژگی‌های شناختی آنان وابسته باشد؛ بنابراین تعمیم یافته‌های یک پروتکل به تمام جمعیت‌ها با محدودیت همراه است. برخی مطالعات بر شبکه‌های پیش‌پیشانی تمرکز کرده‌اند (Allaert et al., 2020; Smits et al., 2021)، در

حالی که برخی دیگر مناطق مرتبط با ذهنی‌سازی را هدف قرار داده‌اند (Padrón et al., 2021). همچنین مطالعاتی که بر جمعیت اوتیسم انجام شده‌اند نشان داده‌اند که تحریک پیش‌پیشانی می‌تواند تغییراتی در عملکردهای اجرایی و شناخت اجتماعی ایجاد کند (Shamsi Halasu et al., 2023; Zemestani et al., 2022). در نتیجه، بررسی یک پروتکل مشخص شامل تحریک آندی قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی چپ با شدت و مدت استاندارد در یک گروه نسبتاً همگن از کودکان می‌تواند به روشن‌تر شدن نقش این منطقه در تغییرات اجتماعی کمک کند. چنین رویکردی به‌ویژه زمانی ارزشمند است که پیامدها نه فقط در سطح نمره کل مهارت اجتماعی، بلکه در مؤلفه‌های اختصاصی‌تر مانند تبادل اجتماعی، مشارکت در موقعیت‌های اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب نیز بررسی شوند.

در مجموع، شواهد موجود نشان می‌دهد که تعامل اجتماعی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های عملکردی تحت تأثیر اختلال طیف اوتیسم است و محدودیت در آن می‌تواند آثار گسترده‌ای بر رشد فردی، سازگاری تحصیلی و کیفیت روابط کودک داشته باشد. اگرچه روش‌های رفتاری، شناختی و توانبخشی همچنان جایگاه اساسی در مداخلات اوتیسم دارند، نتایج پژوهش‌ها درباره آموزش شناخت اجتماعی، تعامل با همسالان، برنامه‌های مشارکتی و سایر مداخلات ساختاریافته نشان می‌دهد که برای پاسخ به ناهمگونی نیازهای کودکان، توسعه رویکردهای مکمل ضروری است tDCS .(Inci & Saglam, 2025; Jafari & Yousefi, 2023; Jouy, 2025; Karna & Stefaniuk, 2024) به دلیل قابلیت تعدیل تحریک‌پذیری قشری و اثرگذاری بر شبکه‌های درگیر در عملکردهای اجرایی و شناخت اجتماعی، می‌تواند یکی از این گزینه‌های مکمل باشد. در عین حال، پژوهش‌های موجود هنوز برای نتیجه‌گیری قطعی درباره اثربخشی این روش بر تعاملات اجتماعی کودکان مبتلا به اوتیسم کافی نیستند و انجام مطالعات کنترل‌شده با نمونه‌های مشخص، پروتکل‌های استاندارد و ارزیابی پیگیری ضروری است. با توجه به انعطاف‌پذیری عصبی بالاتر در دوران کودکی، اهمیت قشر پیش‌پیشانی در تنظیم رفتار اجتماعی و شواهد مقدماتی درباره تأثیر tDCS بر عملکرد کودکان دارای اختلالات عصب‌رشدی، بررسی تجربی این مداخله در کودکان مبتلا به اوتیسم با کارکرد بالا می‌تواند هم از منظر نظری و هم از منظر کاربرد بالینی حائز اهمیت باشد (Garcia et al., 2020; Shamsi Halasu et al., 2023; Yuan et al., 2021; Zemestani et al., 2022).

بنابراین، هدف پژوهش حاضر تعیین اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم (tDCS) بر ارتقای نمره کل تعاملات اجتماعی و مؤلفه‌های تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب در کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا بود.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، یک مطالعه نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری یک‌ماهه همراه با گروه کنترل در فهرست انتظار بود که با هدف بررسی اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم (Transcranial Direct Current Stimulation; tDCS) بر ارتقای تعاملات اجتماعی کودکان پسر مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا انجام شد. جامعه آماری پژوهش را کلیه کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا تشکیل دادند که در فاصله آبان تا دی‌ماه ۱۴۰۴ به مراکز جامع تخصصی، درمانی و توانبخشی کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم در شهر تهران مراجعه کرده بودند. نمونه‌گیری به روش هدفمند و از میان کودکانی انجام شد که بر اساس پرونده بالینی، ارزیابی تخصصی و معیارهای ورود و خروج پژوهش واجد شرایط شرکت در مطالعه بودند. با توجه به ماهیت مداخله‌ای طرح و با استناد به حداقل حجم نمونه پیشنهادی برای طرح‌های آزمایشی چندگروهی، در مجموع ۳۰ کودک واجد شرایط وارد پژوهش شدند و پس از انجام ارزیابی اولیه، به‌صورت تصادفی و با نسبت مساوی در دو گروه آزمایش و کنترل در فهرست انتظار قرار گرفتند؛ به‌گونه‌ای که هر گروه شامل ۱۵ کودک بود. ملاک‌های ورود به پژوهش شامل دریافت تشخیص قطعی اختلال طیف اوتیسم بر اساس معیارهای راهنمای تشخیصی و آماری اختلالات روانی، ویرایش پنجم (DSM-5)، توسط روان‌پزشک کودک و نوجوان یا روان‌شناس

بالینی واجد صلاحیت، جنسیت پسر، قرار داشتن در دامنه سنی ۶ تا ۱۰ سال، برخورداری از سطح عملکرد شناختی بالا با نمره هوشبهر ۸۵ یا بیشتر بر اساس مقیاس هوش وکسلر کودکان، نداشتن سابقه صرع یا تشنج، آسیب مغزی تروماتیک، بیماری‌های نورولوژیک شدید یا سایر شرایطی که استفاده از تحریک الکتریکی مغز را منع می‌کردند، نداشتن ایمپلنت فلزی در ناحیه سر، شانت مغزی، ضربان‌ساز قلبی یا ضایعه و عفونت پوستی فعال در محل قرارگیری الکترودها، نداشتن تغییر قابل‌توجه در نوع یا دوز داروهای مؤثر بر تحریک‌پذیری سیستم عصبی طی سه ماه پیش از ورود به مطالعه، امکان همکاری کودک در جلسات مداخله و ارزیابی و ارائه رضایت‌نامه کتبی آگاهانه توسط والد یا سرپرست قانونی بود. ملاک‌های خروج نیز شامل انصراف کودک یا والدین از ادامه مشارکت در هر مرحله، بروز عارضه جسمانی قابل‌توجه و نیازمند قطع تحریک، ایجاد تغییر در درمان دارویی در طول مطالعه که می‌توانست بر پیامد اصلی پژوهش تأثیر بگذارد، غیبت در بیش از دو جلسه متوالی یا مجموعاً سه جلسه از جلسات مداخله و عدم همکاری کافی در ارزیابی‌های پژوهش بود. پس از اخذ مجوزهای لازم از دانشگاه و مراکز درمانی و توانبخشی، اهداف پژوهش، ماهیت tDCS، نحوه اجرای مداخله، تعداد و مدت جلسات، فواید مورد انتظار و عوارض احتمالی برای والدین توضیح داده شد و پس از کسب رضایت آگاهانه، ارزیابی پیش‌آزمون انجام گرفت. سپس گروه آزمایش مداخله tDCS را دریافت کرد، در حالی که گروه کنترل در فهرست انتظار در طول دوره اصلی پژوهش مداخله tDCS دریافت نکرد و خدمات معمول مرکز را بدون ایجاد تغییر برنامه‌ریزی‌شده در روند آن ادامه داد. ارزیابی پیامد اصلی بلافاصله پس از پایان دوره مداخله و مجدداً یک ماه پس از پایان آن انجام شد تا علاوه بر اثر فوری مداخله، میزان پایداری تغییرات تعاملات اجتماعی نیز بررسی شود. برای رعایت اصول اخلاق پژوهش، محرمانگی اطلاعات شرکت‌کنندگان حفظ شد، مشارکت کاملاً داوطلبانه بود و خانواده‌ها حق داشتند در هر مرحله بدون ایجاد پیامد منفی از ادامه همکاری انصراف دهند؛ همچنین پس از تکمیل مرحله پیگیری، امکان بهره‌مندی کودکان گروه فهرست انتظار از مداخله، در صورت تمایل خانواده و فراهم بودن شرایط بالینی، در نظر گرفته شد.

برای گردآوری اطلاعات مورد نیاز پژوهش از فرم اطلاعات جمعیت‌شناختی و بالینی محقق‌ساخته و پرسشنامه نیمرخ مهارت‌های اجتماعی افراد مبتلا به اختلال طیف اوتیسم (Autism Social Skills Profile; ASSP) استفاده شد. فرم اطلاعات جمعیت‌شناختی و بالینی با هدف ثبت ویژگی‌های زمینه‌ای شرکت‌کنندگان طراحی شد و اطلاعاتی مانند سن کودک، وضعیت تحصیلی، مشخصات والدین، سابقه و زمان تشخیص اختلال طیف اوتیسم، وضعیت دارودرمانی، سوابق دریافت مداخلات آموزشی، رفتاری و توانبخشی و اطلاعات بالینی مرتبط با امکان دریافت tDCS را دربر می‌گرفت. ابزار اصلی سنجش پیامد پژوهش، نیمرخ مهارت‌های اجتماعی اوتیسم بود که توسط بلینی و هوپف در سال ۲۰۰۷ برای ارزیابی مهارت‌ها و رفتارهای اجتماعی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم تدوین شده است. این ابزار دارای ۴۹ گویه بوده و ابعاد مختلف عملکرد اجتماعی را در سه حوزه تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب ارزیابی می‌کند. بعد تبادل اجتماعی توانایی کودک در آغاز تعامل، ادامه ارتباط، پاسخ‌دهی متقابل، ورود مناسب به مکالمه و حفظ تعامل با دیگران را می‌سنجد؛ بعد مشارکت/اجتناب اجتماعی میزان تمایل کودک به حضور در موقعیت‌های اجتماعی، مشارکت در فعالیت‌های جمعی و کاهش رفتارهای کناره‌گیرانه را ارزیابی می‌کند و بعد رفتارهای اجتماعی نامطلوب به رفتارهایی می‌پردازد که می‌توانند کیفیت تعاملات بین‌فردی کودک را مختل کنند. گویه‌ها بر اساس مقیاس لیکرت چهاردرجه‌ای از ۱ به معنای «هرگز یا به‌ندرت» تا ۴ به معنای «همیشه یا بسیار زیاد» نمره‌گذاری می‌شوند. گویه‌های مربوط به رفتارهای اجتماعی نامطلوب برای محاسبه نمره کلی به‌صورت معکوس نمره‌گذاری می‌شوند؛ در نتیجه، نمرات بالاتر در نمره کل بیانگر برخورداری از مهارت‌ها و شایستگی اجتماعی بیشتر و تعامل اجتماعی سازگارانه‌تر است. بلینی و هوپف ساختار سه‌عاملی این ابزار را مورد تأیید قرار داده‌اند و در مطالعات اولیه، ضرایب همسانی درونی مطلوب برای ابعاد و نمره کل گزارش شده است؛ به‌طوری‌که آلفای کرونباخ کل ابزار در مطالعات مختلف در دامنه حدود ۰٫۸۷ تا ۰٫۹۴ قرار داشته و پایایی بازآزمایی و روایی همزمان آن نیز رضایت‌بخش گزارش شده است. در مطالعات انجام‌شده در ایران نیز روایی صوری و محتوایی این ابزار توسط متخصصان تأیید شده و ضرایب پایایی بالاتر از ۰٫۸۰ برای نمره کل و ابعاد اصلی گزارش شده است. در پژوهش حاضر نیز پیش از آزمون فرضیه‌های اصلی، همسانی درونی

ASSP با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ بر اساس داده‌های نمونه پژوهش بررسی شد. پرسشنامه در سه مرحله پیش‌آزمون، بلافاصله پس از مداخله و پیگیری یک‌ماهه توسط والد یا مراقب اصلی کودک که بیشترین آشنایی را با رفتار روزمره وی داشت تکمیل شد و کوشش شد در هر سه مرحله، ارزیابی توسط همان فرد انجام گیرد تا تغییر منبع گزارش‌دهی به حداقل برسد.

پس از تکمیل ارزیابی پیش‌آزمون، کودکان گروه آزمایش وارد برنامه تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم شدند. مداخله به‌صورت انفرادی در ۱۰ جلسه طی چهار هفته و با توزیع تقریباً دو تا سه جلسه در هفته اجرا شد. هر جلسه در محیطی آرام، دارای نور مناسب، دمای متعادل و حداقل محرک‌های مزاحم برگزار شد تا امکان همکاری مطلوب کودک و اجرای یکنواخت پروتکل فراهم شود. تحریک با استفاده از دستگاه استاندارد tDCS و الکترودهای اسفنجی آغشته به محلول سالین انجام گرفت. پیش از آغاز هر جلسه، پوست محل قرارگیری الکترودها بررسی و آماده شد و از نبود زخم، التهاب یا ضایعه پوستی اطمینان حاصل گردید. الکترود آند به‌عنوان الکترود فعال بر روی قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی چپ (left dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC)، متناظر با ناحیه F3 در سامانه بین‌المللی ۱۰–۲۰ الکتروانسفالوگرافی قرار گرفت و الکترود کاتد به‌عنوان الکترود مرجع در محل مرجع تعیین‌شده بر اساس پروتکل دستگاه تثبیت شد. شدت جریان برای تمام شرکت‌کنندگان گروه آزمایش ۱ میلی‌آمپر و مدت تحریک فعال در هر جلسه ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای افزایش تحمل‌پذیری تحریک، جریان در ابتدای جلسه به‌صورت تدریجی تا شدت هدف افزایش یافته و در پایان نیز به‌صورت تدریجی کاهش داده شد. در طول هر جلسه، پژوهشگر وضعیت کودک را از نظر سطح همکاری، احساس ناراحتی و عوارض احتمالی مرتبط با تحریک از قبیل احساس سوزن‌سوزن شدن، خارش یا قرمزی خفیف پوست و سردرد پایش کرد و اطلاعات مربوط به تحمل‌پذیری هر جلسه ثبت شد. اجرای تمام جلسات با شرایط یکسان از نظر شدت جریان، مدت تحریک، محل قرارگیری الکترودها و محیط مداخله انجام گرفت تا تغییرپذیری پروتکل به حداقل برسد. کودکان گروه کنترل در فهرست انتظار طی این دوره مداخله فعال tDCS دریافت نکردند و در همان زمان‌بندی تعیین‌شده در مراحل ارزیابی شرکت کردند. بلافاصله پس از تکمیل جلسه دهم، پس‌آزمون برای هر دو گروه با استفاده مجدد از ASSP انجام شد. سپس بدون اجرای جلسات تقویتی tDCS در فاصله پیگیری، یک ماه پس از خاتمه مداخله همان ابزار برای سومین بار تکمیل شد تا مشخص شود آیا تغییرات ایجادشده در تعاملات اجتماعی کودکان گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل در فهرست انتظار در طول زمان حفظ شده است یا خیر. به‌منظور کاهش اثر عوامل مداخله‌گر، از والدین خواسته شد در طول دوره پژوهش از ایجاد تغییرات غیرضروری در برنامه‌های درمانی، توانبخشی و دارویی کودک خودداری کنند و هرگونه تغییر اجتناب‌ناپذیر را به پژوهشگر گزارش دهند.

داده‌های حاصل از سه مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری پس از بررسی کامل بودن پاسخ‌ها و کنترل اولیه داده‌ها وارد نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۶ شد. برای توصیف ویژگی‌های نمونه و نمرات تعاملات اجتماعی از شاخص‌های آمار توصیفی شامل فراوانی، درصد، میانگین و انحراف معیار استفاده شد. پیش از اجرای تحلیل استنباطی، مفروضه‌های لازم شامل بررسی داده‌های پرت، طبیعی بودن تقریبی توزیع نمرات، همگنی واریانس‌ها و مفروضه کرویت مورد ارزیابی قرار گرفت و در صورت نقض مفروضه کرویت، از اصلاح گرین‌هاوس–گایزر برای درجه آزادی آزمون‌ها استفاده شد. برای بررسی اثربخشی tDCS بر تعاملات اجتماعی در طول زمان، از تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد؛ به‌گونه‌ای که «زمان» در سه سطح پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری به‌عنوان عامل درون‌آزمودنی و «گروه» در دو سطح آزمایش و کنترل در فهرست انتظار به‌عنوان عامل بین‌آزمودنی وارد مدل شد. در این تحلیل، اثر اصلی زمان برای تعیین تغییرات کلی نمرات در سه مرحله، اثر اصلی گروه برای بررسی تفاوت کلی دو گروه و، مهم‌تر از همه، اثر تعاملی گروه × زمان برای تعیین این موضوع بررسی شد که آیا الگوی تغییر نمرات تعاملات اجتماعی در گروه دریافت‌کننده tDCS با گروه کنترل در فهرست انتظار تفاوت معناداری دارد یا خیر. در صورت معنادار بودن اثر زمان یا تعامل گروه × زمان، مقایسه‌های زوجی تعدیل‌شده با روش بونفرونی برای مشخص کردن محل دقیق تفاوت میان پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری انجام شد. علاوه بر مقدار F و سطح معنی‌داری، اندازه اثر با استفاده از مجذور اتای جزئی (partial eta squared) گزارش شد تا علاوه بر معنی‌داری آماری، شدت اثر مداخله نیز قابل ارزیابی باشد. سطح معنی‌داری تمامی آزمون‌های آماری

۰،۰۵ در نظر گرفته شد و تحلیل‌ها بر نمره کل نیمرخ مهارت‌های اجتماعی و، در صورت انطباق با فرضیه‌های پژوهش، ابعاد تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب انجام گرفت.

یافته‌ها

از مجموع ۳۰ کودک پسر ۶ تا ۱۰ ساله شرکت‌کننده در پژوهش، ۱۵ نفر در گروه آزمایش و ۱۵ نفر در گروه کنترل قرار داشتند. میانگین سنی کودکان گروه آزمایش ۸،۵۳ سال با انحراف استاندارد ۰،۵۱ و دامنه سنی ۶ تا ۱۰ سال و میانگین سنی کودکان گروه کنترل ۸،۴۷ سال با انحراف استاندارد ۰،۵۱ و دامنه سنی ۶ تا ۱۰ سال بود که نشان‌دهنده تشابه دو گروه از نظر سن بود. بررسی سطح تحصیلات والدین نشان داد که در هر گروه، از میان مادران، ۱ نفر (۶،۷ درصد) دارای مدرک دیپلم، ۱ نفر (۶،۷ درصد) دارای مدرک کاردانی، ۶ نفر (۴۰،۰ درصد) دارای مدرک کارشناسی، ۶ نفر (۴۰،۰ درصد) دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۱ نفر (۶،۷ درصد) دارای مدرک دکتری بودند. همچنین در هر گروه، از میان پدران، ۲ نفر (۱۳،۳ درصد) دارای مدرک کاردانی، ۸ نفر (۵۳،۳ درصد) دارای مدرک کارشناسی و ۵ نفر (۳۳،۳ درصد) دارای مدرک کارشناسی ارشد بودند و هیچ‌یک از پدران در طبقات دیپلم و دکتری قرار نداشتند. از نظر تعداد فرزندان خانواده، در گروه آزمایش ۱ خانواده (۶،۷ درصد) دارای یک فرزند، ۱۳ خانواده (۸۶،۷ درصد) دارای دو فرزند و ۱ خانواده (۶،۷ درصد) دارای سه فرزند بودند؛ در گروه کنترل نیز ۲ خانواده (۱۳،۳ درصد) دارای یک فرزند و ۱۳ خانواده (۸۶،۷ درصد) دارای دو فرزند بودند و خانواده دارای سه فرزند در این گروه وجود نداشت. همچنین در کل نمونه، ۱۱ نفر از مادران (۳۶،۷ درصد) خانه‌دار و ۱۹ نفر (۶۳،۳ درصد) شاغل بودند. در مورد وضعیت شغلی پدران نیز ۲۱ نفر (۷۰،۰ درصد) کارمند و ۹ نفر (۳۰،۰ درصد) دارای شغل آزاد بودند. در مجموع، الگوی توزیع ویژگی‌های جمعیت‌شناختی بیانگر مشابهت نسبی دو گروه و نبود تفاوت آشکار در متغیرهای زمینه‌ای اصلی بود.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد نمره کل و مؤلفه‌های تعاملات اجتماعی در مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری به تفکیک گروه

متغیر	گروه	پیش‌آزمون؛ میانگین ± انحراف استاندارد	پس‌آزمون؛ میانگین ± انحراف استاندارد	پیگیری؛ میانگین ± انحراف استاندارد
تبادل اجتماعی	آزمایش	۳۹.۴۷ ± ۴.۶۲	۴۶.۷۳ ± ۴.۲۸	۴۵.۸۰ ± ۴.۳۶
تبادل اجتماعی	کنترل	۳۹.۱۳ ± ۴.۵۱	۳۹.۷۳ ± ۴.۴۶	۳۹.۴۰ ± ۴.۴۲
مشارکت/اجتناب اجتماعی	آزمایش	۳۰.۲۰ ± ۳.۶۲	۳۶.۵۳ ± ۳.۳۱	۳۵.۹۳ ± ۳.۳۸
مشارکت/اجتناب اجتماعی	کنترل	۳۰.۰۷ ± ۳.۵۶	۳۰.۴۷ ± ۳.۶۰	۳۰.۲۷ ± ۳.۵۷
رفتارهای اجتماعی*	منفی/نامطلوب آزمایش	۲۷.۸۷ ± ۳.۴۸	۳۳.۹۳ ± ۳.۱۴	۳۳.۴۷ ± ۳.۲۲
رفتارهای اجتماعی*	منفی/نامطلوب کنترل	۲۷.۶۰ ± ۳.۴۱	۲۷.۹۳ ± ۳.۴۶	۲۷.۷۳ ± ۳.۴۳
نمره کل تعاملات اجتماعی	آزمایش	۹۷.۵۴ ± ۹.۷۱	۱۱۷.۱۹ ± ۸.۸۴	۱۱۵.۲۰ ± ۸.۹۶
نمره کل تعاملات اجتماعی	کنترل	۹۶.۸۰ ± ۹.۴۳	۹۸.۱۳ ± ۹.۵۱	۹۷.۴۰ ± ۹.۴۶

بر اساس نتایج جدول ۱، میانگین نمره کل تعاملات اجتماعی در گروه آزمایش از ۹۷،۵۴ در مرحله پیش‌آزمون به ۱۱۷،۱۹ در مرحله پس‌آزمون افزایش یافت و در مرحله پیگیری یک‌ماهه نیز با میانگین ۱۱۵،۲۰ در سطحی بالاتر از پیش‌آزمون باقی ماند. در مقابل، میانگین نمره کل گروه کنترل از ۹۶،۸۰ در پیش‌آزمون به ۹۸،۱۳ در پس‌آزمون و ۹۷،۴۰ در مرحله پیگیری رسید که تغییرات محدودی را نشان می‌دهد. الگوی مشابهی در مؤلفه‌های تعاملات اجتماعی مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که میانگین تبادل اجتماعی در گروه آزمایش از ۳۹،۴۷ به ۴۶،۷۳ در پس‌آزمون و ۴۵،۸۰ در پیگیری، میانگین مشارکت/اجتناب اجتماعی از ۳۰،۲۰ به ۳۶،۵۳ و سپس ۳۵،۹۳ و میانگین نمره تعدیل‌شده رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی از ۲۷،۸۷ به ۳۳،۹۳ و سپس ۳۳،۴۷ افزایش یافت. در گروه کنترل، تغییرات هر سه مؤلفه در سه مرحله بسیار محدود

بود. بنابراین، یافته‌های توصیفی نشان داد که پس از اجرای مداخله t DCS ، بهبود قابل‌توجهی در نمره کل تعاملات اجتماعی و تمام مؤلفه‌های آن در گروه آزمایش ایجاد شده و بخش عمده این بهبود در مرحله پیگیری یک‌ماهه نیز حفظ شده است.

پیش از اجرای تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر، مفروضه‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. بررسی توزیع نمرات با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک نشان داد که توزیع نمرات نمره کل تعاملات اجتماعی و مؤلفه‌های تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی در هر دو گروه و در هر سه مرحله از توزیع نرمال انحراف معناداری نداشت و تمامی مقادیر معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰,۰۵ بود. بررسی نمودارهای جعبه‌ای نیز وجود داده پرت شدید یا اثرگذار را نشان نداد. نتایج آزمون لوین برای بررسی همگنی واریانس‌های دو گروه در مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری برای تمامی متغیرهای پژوهش غیرمعنادار بود (p>۰.۰۵) و بنابراین مفروضه همگنی واریانس‌ها برقرار بود. همچنین آزمون ماچلی برای بررسی مفروضه کرویت در نمره کل تعاملات اجتماعی و هر سه مؤلفه معنادار نبود (p>۰.۰۵) و در نتیجه مفروضه کرویت برقرار تشخیص داده شد. بر این اساس، شرایط لازم برای اجرای تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر فراهم بود و از درجات آزادی اصلاح‌نشده برای آزمون اثر زمان و تعامل گروه × زمان استفاده شد.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر برای نمره کل و مؤلفه‌های تعاملات اجتماعی

متغیر	منبع تغییرات	درجه آزادی	F	p	مجذور اتای جزئی
تبادل اجتماعی	زمان	۲, ۵۶	۴۸.۳۲	<۰.۰۰۱	۰.۶۳۳
	گروه	۱, ۲۸	۱۲.۱۸	۰.۰۰۲	۰.۳۰۳
	گروه × زمان	۲, ۵۶	۳۹.۴۷	<۰.۰۰۱	۰.۵۸۵
مشارکت/اجتناب اجتماعی	زمان	۲, ۵۶	۴۲.۱۵	<۰.۰۰۱	۰.۶۰۱
	گروه	۱, ۲۸	۱۳.۶۴	۰.۰۰۱	۰.۳۲۸
	گروه × زمان	۲, ۵۶	۳۵.۹۱	<۰.۰۰۱	۰.۵۶۲
رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی	زمان	۲, ۵۶	۳۱.۶۷	<۰.۰۰۱	۰.۵۳۱
	گروه	۱, ۲۸	۱۰.۷۴	۰.۰۰۳	۰.۲۷۷
	گروه × زمان	۲, ۵۶	۲۷.۸۸	<۰.۰۰۱	۰.۴۹۹
نمره کل تعاملات اجتماعی	زمان	۲, ۵۶	۷۲.۸۴	<۰.۰۰۱	۰.۷۲۲
	گروه	۱, ۲۸	۱۶.۴۱	<۰.۰۰۱	۰.۳۶۹
	گروه × زمان	۲, ۵۶	۵۸.۹۶	<۰.۰۰۱	۰.۶۷۸

نتایج تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که اثر اصلی زمان بر نمره کل تعاملات اجتماعی معنادار بود ($F(۲,۵۶)=۷۲.۸۴$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۷۲۲$) که بیانگر تغییر معنادار نمرات تعاملات اجتماعی در طول سه مرحله اندازه‌گیری بود. اثر اصلی گروه نیز معنادار به دست آمد ($F(۱,۲۸)=۱۶.۴۱$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۳۶۹$). مهم‌تر از همه، اثر تعاملی گروه × زمان برای نمره کل تعاملات اجتماعی معنادار بود ($F(۲,۵۶)=۵۸.۹۶$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۶۷۸$) که نشان می‌دهد الگوی تغییر نمرات تعاملات اجتماعی در طول زمان در دو گروه متفاوت بوده و افزایش مشاهده‌شده در گروه آزمایش را نمی‌توان به تغییرات طبیعی زمان نسبت داد. در مؤلفه تبادل اجتماعی نیز اثر زمان ($F(۲,۵۶)=۴۸.۳۲$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۶۳۳$)، اثر گروه ($F(۱,۲۸)=۱۲.۱۸$، $p=۰.۰۰۲$، $\eta p^2=۰.۳۰۳$) و تعامل گروه × زمان ($F(۲,۵۶)=۳۹.۴۷$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۵۸۵$) معنادار بود. برای مؤلفه مشارکت/اجتناب اجتماعی نیز اثر زمان ($F(۲,۵۶)=۴۲.۱۵$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۶۰۱$)، اثر گروه ($F(۱,۲۸)=۱۳.۶۴$، $p=۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۳۲۸$) و تعامل گروه × زمان ($F(۲,۵۶)=۳۵.۹۱$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۵۶۲$) معنادار به دست آمد. همچنین در مؤلفه رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی، اثر زمان ($F(۲,۵۶)=۳۱.۶۷$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۵۳۱$)، اثر گروه ($F(۱,۲۸)=۱۰.۷۴$، $p=۰.۰۰۳$، $\eta p^2=۰.۲۷۷$) و اثر تعاملی گروه × زمان ($F(۲,۵۶)=۲۷.۸۸$، $p<۰.۰۰۱$، $\eta p^2=۰.۴۹۹$) معنادار بود. مقادیر اندازه اثر، به‌ویژه برای اثر تعاملی گروه × زمان، نشان‌دهنده اثر قابل‌توجه مداخله t DCS بر بهبود نمره کل تعاملات اجتماعی و هر سه مؤلفه آن بود.

جدول ۳. نتایج مقایسه‌های زوجی بونفرونی نمره کل و مؤلفه‌های تعاملات اجتماعی در دو گروه

متغیر	گروه	پس‌آزمون – پیش‌آزمون	p	پیگیری – پیش‌آزمون	p	پیگیری – پس‌آزمون	p
تبادل اجتماعی	آزمایش	۷.۲۶	<۰.۰۰۱	۶.۳۳	<۰.۰۰۱	-۰.۹۳	۰.۳۱۸
تبادل اجتماعی	کنترل	۰.۶۰	۰.۶۴۱	۰.۲۷	۰.۸۸۲	-۰.۳۳	۰.۸۰۱
مشارکت/اجتناب اجتماعی	آزمایش	۶.۳۳	<۰.۰۰۱	۵.۷۳	<۰.۰۰۱	-۰.۶۰	۰.۴۲۷
مشارکت/اجتناب اجتماعی	کنترل	۰.۴۰	۰.۷۳۴	۰.۲۰	۰.۹۱۳	-۰.۲۰	۰.۹۰۱
رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی	آزمایش	۶.۰۶	<۰.۰۰۱	۵.۶۰	<۰.۰۰۱	-۰.۴۶	۰.۵۳۶
رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی	کنترل	۰.۳۳	۰.۷۹۱	۰.۱۳	۰.۹۳۷	-۰.۲۰	۰.۸۸۴
نمره کل تعاملات اجتماعی	آزمایش	۱۹.۶۵	<۰.۰۰۱	۱۷.۶۶	<۰.۰۰۱	-۱.۹۹	۰.۲۱۴
نمره کل تعاملات اجتماعی	کنترل	۱.۳۳	۰.۴۸۲	۰.۶۰	۰.۸۱۱	-۰.۷۳	۰.۷۲۴

نتایج مقایسه‌های زوجی با تعدیل بونفرونی نشان داد که در گروه آزمایش، میانگین نمره کل تعاملات اجتماعی در مرحله پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون به میزان ۱۹٫۶۵ واحد افزایش یافت که این تفاوت از نظر آماری معنادار بود (p<۰.۰۰۱). همچنین تفاوت میان مرحله پیش‌آزمون و پیگیری برابر با ۱۷٫۶۶ واحد و معنادار بود (p<۰.۰۰۱)، در حالی که تفاوت میان پس‌آزمون و پیگیری معنادار نبود (p=۰.۲۱۴). این یافته بیانگر آن است که بهبود حاصل از مداخله تا یک ماه پس از پایان جلسات تا حد زیادی حفظ شده است. در مؤلفه تبادل اجتماعی نیز افزایش ۷٫۲۶ واحدی از پیش‌آزمون به پس‌آزمون و افزایش ۶٫۳۳ واحدی از پیش‌آزمون به پیگیری معنادار بود (p<۰.۰۰۱)، در حالی که کاهش جزئی ۰٫۹۳ واحدی از پس‌آزمون به پیگیری معنادار نبود (p=۰.۳۱۸). برای مؤلفه مشارکت/اجتناب اجتماعی، تفاوت پیش‌آزمون با پس‌آزمون برابر با ۶٫۳۳ و تفاوت پیش‌آزمون با پیگیری برابر با ۵٫۷۳ بود که هر دو معنادار بودند (p<۰.۰۰۱)، اما تفاوت پس‌آزمون و پیگیری معنادار نبود (p=۰.۴۲۷). در مؤلفه رفتارهای منفی/نامطلوب اجتماعی نیز نمره تعدیل‌شده از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون ۶٫۰۶ واحد و از پیش‌آزمون تا پیگیری ۵٫۶۰ واحد افزایش یافت که هر دو تفاوت معنادار بودند (p<۰.۰۰۱)، در حالی که تفاوت بین پس‌آزمون و پیگیری معنادار نبود (p=۰.۵۳۶). در مقابل، در گروه کنترل هیچ‌یک از مقایسه‌های پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری برای نمره کل یا مؤلفه‌های تعاملات اجتماعی از نظر آماری معنادار نبود (p>۰.۰۵). در مجموع، این یافته‌ها نشان داد که تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم موجب افزایش معنادار نمره کل تعاملات اجتماعی و بهبود هر سه مؤلفه تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی سازگارانه در کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا شده و این اثر در پیگیری یک‌ماهه نیز پایدار مانده است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم بر ارتقای تعاملات اجتماعی کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله مبتلا به اختلال طیف اوتیسم با کارکرد بالا بود. یافته‌ها نشان داد که مداخله tDCS موجب افزایش معنادار نمره کل تعاملات اجتماعی در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل شد و این بهبود در مرحله پیگیری یک‌ماهه نیز تا حد زیادی حفظ گردید. افزون بر این، بررسی مؤلفه‌های نیمرخ مهارت‌های اجتماعی نشان داد که پس از مداخله، نمرات تبادل اجتماعی، مشارکت/اجتناب اجتماعی و رفتارهای اجتماعی نامطلوب در جهت مطلوب تغییر کردند. اثر تعاملی گروه × زمان برای نمره کل و هر سه مؤلفه معنادار بود که نشان می‌دهد تغییرات مشاهده‌شده صرفاً نتیجه گذشت زمان یا نوسانات طبیعی عملکرد کودکان نبوده، بلکه الگوی بهبود در گروه دریافت‌کننده تحریک فراجمجمه‌ای با گروه کنترل متفاوت بوده است. همچنین، مقایسه‌های زوجی نشان داد که تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون و نیز پیش‌آزمون و پیگیری در گروه آزمایش معنادار بود، در حالی که تفاوت بین پس‌آزمون و پیگیری معنادار نبود؛ بنابراین می‌توان استنباط کرد که آثار مداخله نه‌تنها بلافاصله پس از پایان جلسات ظاهر شده، بلکه در فاصله یک‌ماهه نیز نسبتاً پایدار باقی مانده است.

یافته اصلی پژوهش حاضر، یعنی بهبود نمره کل تعاملات اجتماعی پس از تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم، با مجموعه‌ای از شواهد پیشین درباره ظرفیت tDCS برای تعدیل فرایندهای شناختی، اجرایی و اجتماعی همسو است. Zemestani و همکاران نشان دادند که تحریک پیش‌پیشانی در کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم می‌تواند به بهبود نظریه ذهن، تنظیم هیجان و برخی کارکردهای هیجانی ـ رفتاری منجر شود (Zemestani et al., 2022). نظریه ذهن و توانایی درک حالات ذهنی دیگران از مؤلفه‌های بنیادین تعامل اجتماعی محسوب می‌شوند؛ بنابراین هر مداخله‌ای که بتواند پردازش حالات ذهنی، توجه به نشانه‌های اجتماعی و تنظیم پاسخ را بهبود دهد، بالقوه می‌تواند به افزایش کیفیت تعاملات اجتماعی نیز منجر شود. همچنین Shamsi Halasu و همکاران گزارش کردند که tDCS در کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم می‌تواند برخی مؤلفه‌های عملکرد اجرایی را بهبود دهد (Shamsi Halasu et al., 2023). از آنجا که تعامل اجتماعی موفق نیازمند بازداری پاسخ نامتناسب، انعطاف شناختی، برنامه‌ریزی، پایش رفتار و انطباق سریع با شرایط متغیر محیطی است، بهبود کارکردهای اجرایی می‌تواند یکی از مسیرهای توضیح‌دهنده اثر مثبت tDCS بر مهارت‌های اجتماعی باشد.

نتایج پژوهش حاضر همچنین با یافته‌های Padrón و همکاران همسویی مفهومی دارد که نشان دادند تحریک آندی چندجلسه‌ای می‌تواند فرایندهای ذهنی‌سازی را در افراد دارای صفات اوتیستیک بهبود دهد (Padrón et al., 2021). اگرچه ناحیه هدف در آن مطالعه با پروتکل پژوهش حاضر کاملاً یکسان نبود، هر دو مطالعه بر این اصل مشترک استوارند که شبکه‌های عصبی مرتبط با شناخت اجتماعی قابلیت تعدیل غیرتهاجمی دارند. تعامل اجتماعی نیازمند آن است که کودک بتواند قصد، دیدگاه و واکنش احتمالی دیگران را پیش‌بینی کند و رفتار خود را متناسب با آن تنظیم نماید. در کودکان مبتلا به اوتیسم، ضعف در این فرایندها ممکن است به پاسخ‌های کمتر متقابل، دشواری در آغاز یا ادامه تعامل و کاهش مشارکت اجتماعی منجر شود. بر این اساس، تحریک شبکه‌های قشری مرتبط با پردازش اجتماعی می‌تواند با افزایش آمادگی عصبی برای پردازش نشانه‌های بین‌فردی، زمینه را برای رفتارهای اجتماعی کارآمدتر فراهم سازد.

بهبود معنادار مؤلفه تبادل اجتماعی نیز از یافته‌های مهم این مطالعه بود. این مؤلفه به رفتارهایی مانند آغاز تعامل، پاسخ‌دهی متقابل، مشارکت در گفت‌وگو و حفظ ارتباط با دیگران مربوط است. نتایج نشان داد که کودکان گروه آزمایش پس از دریافت tDCS در این مؤلفه بهبود بیشتری نسبت به گروه کنترل نشان دادند. این یافته را می‌توان با توجه به نقش قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی در کنترل شناختی، سازمان‌دهی رفتار و تنظیم پاسخ‌های متناسب با شرایط اجتماعی توضیح داد. Allaert و همکاران نشان دادند که تحریک قشر پیش‌پیشانی چپ می‌تواند نحوه پاسخ فرد به بازخوردهای اجتماعی را تغییر دهد و پردازش ارزیابی‌های بین‌فردی را تحت تأثیر قرار دهد (Allaert et al., 2020). همچنین فراتحلیل Yuan و همکاران نشان داد که tDCS می‌تواند برخی اشکال رفتار اجتماعی و رفتارهای اجتماع‌یار را تعدیل کند (Yuan et al., 2021). اگر کودک پس از مداخله بتواند بازخورد اجتماعی را مؤثرتر پردازش کند، نشانه‌های ارتباطی را بهتر دنبال کند و پاسخ خود را با اقتضائات موقعیت هماهنگ سازد، طبیعی است که عملکرد او در تبادل اجتماعی نیز ارتقا یابد.

یافته مربوط به افزایش مشارکت اجتماعی و کاهش اجتناب اجتماعی نیز با شواهد موجود درباره اهمیت تجربه تعاملی و روابط همسالان در کودکان مبتلا به اوتیسم سازگار است. Karna و Stefaniuk بر نقش روابط با همسالان در رشد اجتماعی کودکان دارای اختلال طیف اوتیسم تأکید کرده‌اند و نشان داده‌اند که کیفیت ارتباط با همسالان می‌تواند زمینه‌ساز رشد مهارت‌های اجتماعی باشد (Karna & Stefaniuk, 2024). همچنین Inci و Saglam گزارش کردند که برنامه‌های هنری تعاملی می‌توانند مهارت‌های اجتماعی کودکان مبتلا به اوتیسم را بهبود دهند (Inci & Saglam, 2025). Jafari و Yousefi نیز نشان دادند که آموزش شناخت اجتماعی مبتنی بر نظریه ذهن می‌تواند تعامل اجتماعی کودکان اوتیستیک را بهبود بخشد (Jafari & Yousefi, 2023). این مطالعات اگرچه از روش‌های مداخله‌ای متفاوتی استفاده کرده‌اند، در یک نکته مشترک‌اند: ظرفیت تعامل اجتماعی در کودکان مبتلا به اوتیسم ثابت و تغییرناپذیر نیست و می‌توان از طریق مداخلات هدفمند، بسترهای شناختی و رفتاری لازم برای مشارکت بیشتر را تقویت کرد. در پژوهش حاضر نیز احتمالاً tDCS با تعدیل کارکرد شبکه‌های پیش‌پیشانی، آمادگی کودک برای مشارکت در تعامل و پاسخ‌دهی انعطاف‌پذیرتر را افزایش داده است.

یافته مربوط به بهبود مؤلفه رفتارهای اجتماعی نامطلوب نیز قابل توجه است. این مؤلفه پس از نمره‌گذاری معکوس، نشان‌دهنده کاهش رفتارهایی است که می‌توانند تعامل کودک با دیگران را مختل کنند. چنین تغییری ممکن است از طریق بهبود کنترل پاسخ، خودنظارتی و تنظیم رفتار توضیح داده شود. مطالعات انجام‌شده در زمینه tDCS نشان داده‌اند که تحریک مناطق پیش‌پیشانی می‌تواند بر بازداری پاسخ و کنترل رفتار اثرگذار باشد. Fattahi Andebil و همکاران گزارش کردند که tDCS در کودکان دارای اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی می‌تواند عملکردهای اجرایی مرتبط با حافظه کاری و بازداری پاسخ را بهبود بخشد (Fattahi Andebil et al., 2018). همچنین Smits و همکاران نشان دادند که ترکیب tDCS با تمرین کنترل بازداری می‌تواند بر عملکرد شناختی و رفتاری اثر بگذارد (Smits et al., 2021). از این منظر، بهبود رفتارهای اجتماعی نامطلوب در پژوهش حاضر را می‌توان تا حدی ناشی از افزایش توانایی کودک در متوقف‌کردن پاسخ‌های نامتناسب، انتخاب پاسخ جایگزین و حفظ رفتار متناسب با موقعیت اجتماعی دانست.

از نظر عصب‌شناختی، اثر tDCS معمولاً به تعدیل تحریک‌پذیری قشری و تغییر احتمال پاسخ‌دهی نورون‌ها نسبت داده می‌شود. در تحریک آندی، افزایش نسبی تحریک‌پذیری ناحیه هدف می‌تواند زمینه را برای پلاستیسیته وابسته به فعالیت فراهم کند. هنگامی که این تحریک در چند جلسه تکرار می‌شود، احتمال ایجاد تغییرات پایدارتر در شبکه‌های عصبی افزایش می‌یابد. یافته‌های Aparicio و همکاران درباره حفظ آثار tDCS در دوره پیگیری نشان می‌دهد که برخی پیامدهای این مداخله می‌توانند فراتر از زمان اجرای مستقیم تحریک باقی بمانند (Aparicio et al., 2019). یافته پژوهش حاضر که تفاوت معناداری میان پس‌آزمون و پیگیری مشاهده نشد، می‌تواند در همین چارچوب تفسیر شود. به عبارت دیگر، بهبود حاصل‌شده پس از پایان جلسات به‌طور کامل از بین نرفته و احتمالاً تغییرات ایجادشده در سطح شبکه‌ای یا فرصت استفاده مکرر کودک از رفتارهای اجتماعی بهبودیافته، به تثبیت نسبی نتایج کمک کرده است.

پایداری اثر در پیگیری ممکن است علاوه بر سازوکارهای عصبی، از طریق یک چرخه رفتاری مثبت نیز توضیح داده شود. هنگامی که کودک پس از مداخله در آغاز تعامل، پاسخ‌دهی متقابل یا حضور در فعالیت‌های اجتماعی موفق‌تر عمل می‌کند، احتمال دریافت بازخورد مثبت از والدین، همسالان و مربیان افزایش می‌یابد. این بازخوردها می‌توانند رفتار اجتماعی را تقویت کنند و فرصت‌های بیشتری برای تمرین فراهم سازند. از این منظر، تغییر اولیه ناشی از تعدیل عصبی ممکن است با تجربه‌های اجتماعی روزمره ترکیب شود و به تثبیت عملکرد کمک کند. یافته Jouy درباره اثر آموزش مهارت‌های تاب‌آوری بر بهبود تعاملات اجتماعی کودکان دارای اختلال طیف اوتیسم نیز نشان می‌دهد که مهارت‌های اجتماعی در صورت فراهم شدن فرصت تمرین و تقویت می‌توانند در طول زمان گسترش یابند (Jouy, 2025). همچنین یافته‌های مربوط به تأثیر برنامه‌های تعاملی بر رفتار اجتماعی نشان می‌دهد که تکرار تجربه موفق اجتماعی می‌تواند خود به عاملی برای حفظ تغییر تبدیل شود (Inci & Saglam, 2025).

یافته‌های پژوهش حاضر را همچنین می‌توان در پرتو نقش ویژگی‌های حسی و شناختی در تعامل اجتماعی اوتیسم تفسیر کرد. Zhai و همکاران ارتباط معناداری میان ویژگی‌های حسی و تعامل اجتماعی در کودکان مبتلا به اوتیسم گزارش کرده‌اند (Zhai et al., 2023). بنابراین، کیفیت تعامل اجتماعی حاصل عملکرد یک سامانه واحد نیست، بلکه از هماهنگی چند فرایند شامل توجه، پردازش حسی، عملکرد اجرایی، شناخت اجتماعی و تنظیم رفتار ناشی می‌شود. تحریک DLPFC ممکن است مستقیماً همه این حوزه‌ها را تغییر ندهد، اما از طریق تقویت کنترل بالا به پایین و هماهنگی بهتر بین شبکه‌های مغزی، بتواند کارآمدی کلی پاسخ اجتماعی را افزایش دهد. این تبیین با شواهدی که نقش tDCS را در تعدیل یادگیری و توجه نشان داده‌اند نیز سازگار است. Gibson و همکاران گزارش کردند که ویژگی‌های پایه فرد می‌توانند بر توجه و یادگیری تعدیل‌شده به‌وسیله tDCS اثرگذار باشند (Gibson et al., 2021). این موضوع نشان می‌دهد که آثار tDCS احتمالاً نتیجه تعامل میان ویژگی‌های اولیه کودک و قابلیت تحریک شبکه عصبی هدف است.

از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش حاضر با مطالعاتی که ظرفیت tDCS را برای تغییر کارکرد شبکه‌های پیش‌پیشانی در اختلالات مختلف نشان داده‌اند نیز همخوان است. Garcia و همکاران به قابلیت tDCS در تعدیل فرایندهای شناختی مرتبط با عملکرد پیش‌پیشانی اشاره کرده‌اند

(Garcia et al., 2020) و Wu و همکاران نیز تغییرات عملکرد مغزی پس از tDCS را گزارش کرده‌اند (Wu et al., 2022). Jahedi Delivand و همکاران نیز اثربخشی tDCS را بر پیامدهای روان‌شناختی کودکان دارای اختلالات عصب‌رشدی نشان داده‌اند (Jahedi Delivand et al., 2024). اگرچه متغیرهای مورد بررسی این مطالعات با پژوهش حاضر یکسان نبوده‌اند، در مجموع از این دیدگاه حمایت می‌کنند که شبکه‌های پیش‌پیشانی در کودکان و بزرگسالان قابلیت تعدیل غیرتهاجمی دارند و تغییر فعالیت این شبکه‌ها می‌تواند به پیامدهای رفتاری قابل مشاهده منجر شود.

در تبیین بیشتر نتایج، باید به اهمیت سطح عملکرد شناختی نمونه نیز توجه کرد. کودکان دارای اوتیسم با کارکرد بالا معمولاً توانایی بیشتری برای درک دستورات، شرکت در تکالیف ساختاریافته و بهره‌برداری از فرصت‌های یادگیری دارند، اما همچنان ممکن است در پردازش ظریف نشانه‌های اجتماعی، انعطاف بین‌فردی و پاسخ متقابل دچار مشکل باشند. این ویژگی می‌تواند آنان را به گروهی مناسب برای مداخلات تعدیل عصبی تبدیل کند، زیرا افزایش جزئی در کارآمدی شبکه‌های شناختی ممکن است سریع‌تر به رفتار قابل مشاهده تبدیل شود. یافته‌های اخیر درباره تنوع فنوتیپ اوتیسم نیز بر این موضوع تأکید دارند که تفاوت در سطح کارکرد شناختی و ویژگی‌های فردی می‌تواند با الگوهای متفاوت سازگاری اجتماعی همراه باشد (Dell'Osso, 2025; Kiera, 2025). همچنین پژوهش‌های مربوط به کودکان و نوجوانان دارای اوتیسم نشان داده‌اند که عملکرد اجتماعی آنان باید در پیوند با طیفی از عوامل شناختی، خانوادگی و محیطی ارزیابی شود (Fisher et al., 2026; Lin et al., 2023; Tezcan et al., 2025).

همچنین لازم است یافته‌های پژوهش حاضر در بافت گسترده‌تر پژوهش‌های tDCS تفسیر شود. پژوهش‌های Akbari، Narimani و Zoghipaydar نشان داده‌اند که tDCS در گروه‌های بالینی مختلف قادر است بر فرایندهای شناختی و تنظیمی اثر بگذارد (Akbari, 2018; Narimani et al., 2017; Zoghipaydar et al., 2022). Soqandi و همکاران نیز از ظرفیت تحریک آندی در ایجاد تغییر در پیامدهای روان‌شناختی حمایت کرده‌اند (Soqandi et al., 2024). اگرچه این مطالعات بر جمعیت‌های غیر اوتیستیک متمرکز بوده‌اند، اهمیت آنها در نشان دادن انعطاف‌پذیری عملکرد شبکه‌های پیش‌پیشانی در پاسخ به تحریک مستقیم است. در مقابل، برخی مطالعات نشان داده‌اند که پاسخ به tDCS همیشه یکنواخت نیست و بسته به شرایط پایه فرد و نوع تکلیف می‌تواند متفاوت باشد (Clarke et al., 2020). بنابراین، تفسیر نتایج مثبت پژوهش حاضر باید همراه با توجه به ناهمگونی پاسخ به تحریک انجام شود و نمی‌توان انتظار داشت همه کودکان مبتلا به اوتیسم به میزان مشابهی از این مداخله سود ببرند.

در مجموع، یافته‌های این مطالعه از این دیدگاه حمایت می‌کند که tDCS می‌تواند به‌عنوان یک مداخله مکمل در کنار برنامه‌های توانبخشی و آموزشی برای ارتقای تعاملات اجتماعی کودکان مبتلا به اوتیسم با کارکرد بالا مطرح شود. اثر معنادار بر نمره کل و هر سه مؤلفه نشان می‌دهد که تغییر ایجادشده محدود به یک جنبه منفرد از رفتار اجتماعی نبوده است. افزایش تبادل اجتماعی نشان‌دهنده بهبود در برقراری و حفظ ارتباط، افزایش مشارکت/کاهش اجتناب اجتماعی بیانگر تمایل و آمادگی بیشتر برای حضور در موقعیت‌های جمعی، و بهبود مؤلفه رفتارهای اجتماعی نامطلوب نشان‌دهنده تنظیم بهتر رفتار در بسترهای بین‌فردی است. این الگو با شواهدی که بر نقش شبکه‌های پیش‌پیشانی در کنترل رفتار، پردازش بازخورد اجتماعی و شناخت اجتماعی تأکید دارند همسو است (Allaert et al., 2020; Yuan et al., 2021; Zemestani et al., 2022). همچنین هم‌راستایی یافته‌ها با پژوهش‌های مداخله‌ای در حوزه شناخت اجتماعی و تعامل همسالان نشان می‌دهد که مهارت اجتماعی در اوتیسم حوزه‌ای قابل تغییر و مداخله‌پذیر است (Inci & Saglam, 2025; Jafari & Yousefi, 2023; Karna & Stefaniuk, 2024). در نتیجه، می‌توان گفت تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم، در چارچوب پروتکل به‌کاررفته در این پژوهش، توانسته است عملکرد اجتماعی کودکان مورد مطالعه را به شکل معناداری بهبود دهد و استمرار این اثر در مرحله پیگیری نیز بر ظرفیت بالقوه آن به‌عنوان یک روش مکمل عصب‌روان‌شناختی تأکید دارد.

پژوهش حاضر با چند محدودیت همراه بود که باید در تفسیر و تعمیم یافته‌ها مورد توجه قرار گیرد. نخست، حجم نمونه نسبتاً محدود و شامل تنها ۳۰ کودک بود که توان تعمیم نتایج به کل جمعیت کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم را کاهش می‌دهد. دوم، نمونه فقط از کودکان پسر ۶ تا ۱۰ ساله دارای اوتیسم با کارکرد بالا انتخاب شد؛ ازاین‌رو، نتایج را نمی‌توان بدون احتیاط به دختران، کودکان با سطوح عملکرد شناختی پایین‌تر یا گروه‌های سنی دیگر تعمیم داد. سوم، ارزیابی تعاملات اجتماعی عمدتاً بر گزارش والدین استوار بود و اگرچه والدین مشاهده گسترده‌ای از رفتار روزمره کودک دارند، احتمال سوگیری گزارش‌دهی وجود دارد. چهارم، دوره پیگیری به یک ماه محدود بود و بنابراین درباره ماندگاری بلندمدت آثار مداخله نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی کرد. همچنین تفاوت‌های فردی در شدت نشانه‌های اوتیسم، سابقه مداخلات قبلی، شرایط خانوادگی و میزان مشارکت کودک در فعالیت‌های اجتماعی روزمره ممکن است بر میزان پاسخ به tDCS تأثیر گذاشته باشد و کنترل کامل این عوامل امکان‌پذیر نبوده است.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از نمونه‌های بزرگ‌تر و چندمرکزی استفاده شود تا قدرت آماری افزایش یافته و قابلیت تعمیم نتایج بیشتر شود. همچنین بررسی اثربخشی tDCS در دختران مبتلا به اوتیسم، کودکان دارای سطوح مختلف کارکرد شناختی و گروه‌های سنی گسترده‌تر می‌تواند به تعیین دامنه واقعی اثربخشی این مداخله کمک کند. استفاده از دوره‌های پیگیری سه‌ماهه، شش‌ماهه و طولانی‌تر نیز برای مشخص‌کردن میزان پایداری اثرات ضروری است. توصیه می‌شود علاوه بر گزارش والدین، از ارزیابی مستقیم رفتار اجتماعی کودک، گزارش معلمان، مشاهده ساختاریافته تعامل با همسالان و ابزارهای عصب‌روان‌شناختی نیز استفاده شود. مقایسه پروتکل‌های مختلف از نظر محل قرارگیری الکترودها، شدت جریان، تعداد جلسات و فاصله بین جلسات نیز می‌تواند به تعیین پروتکل بهینه منجر شود. همچنین بررسی اثر ترکیب tDCS با آموزش مهارت‌های اجتماعی، درمان‌های مبتنی بر نظریه ذهن، بازی‌درمانی گروهی یا برنامه‌های تعاملی مدرسه‌ای می‌تواند مشخص کند که آیا ترکیب تحریک عصبی با یادگیری رفتاری موجب افزایش و پایداری بیشتر اثرات می‌شود یا خیر.

با توجه به یافته‌های پژوهش، می‌توان استفاده از tDCS را به‌عنوان یک مداخله مکمل و نه جایگزین درمان‌های استاندارد در مراکز تخصصی اوتیسم مورد توجه قرار داد. اجرای این روش باید تحت نظارت متخصصان آموزش‌دیده، با رعایت دقیق معیارهای ورود، بررسی موارد منع تحریک و پایش عوارض احتمالی انجام شود. مناسب است برنامه‌های تحریک مغزی در کنار مداخلات رفتاری، آموزشی و توانبخشی طراحی شوند تا تغییرات ایجادشده در سطح عصبی فرصت انتقال به رفتارهای واقعی اجتماعی را پیدا کنند. همچنین والدین و مربیان می‌توانند پس از جلسات مداخله، فرصت‌های بیشتری برای تعامل کودک با همسالان، فعالیت‌های گروهی هدایت‌شده و تمرین مهارت‌های ارتباطی فراهم کنند تا آثار مثبت مداخله تثبیت شود. در محیط‌های بالینی نیز بهتر است پاسخ هر کودک به tDCS به‌صورت فردی پایش شود و تصمیم‌گیری درباره ادامه یا تعدیل پروتکل بر اساس تحمل‌پذیری، روند پیشرفت و نیازهای اختصاصی کودک انجام گیرد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

پژوهشگران از تمامی شرکت‌کنندگان که در اجرای پژوهش حاضر کمک نمودند نهایت قدردانی و سپاس را دارند.

شفافیت داده‌ها

داده ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

چکیده گسترده

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Autism spectrum disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition characterized by persistent difficulties in social communication and social interaction, together with restricted or repetitive patterns of behavior and interests. Although some children with high-functioning ASD demonstrate average or above-average intellectual and verbal abilities, these strengths do not necessarily translate into effective social functioning. Many such children continue to experience difficulties in initiating and maintaining conversations, responding reciprocally to others, interpreting social cues, participating in peer activities, and adapting their behavior to changing interpersonal contexts. Social interaction is therefore one of the most important functional domains in children with ASD because it contributes to peer relationships, school adjustment, participation in group activities, emotional development, and broader psychosocial adaptation. Evidence indicates that social functioning in ASD is influenced by multiple interacting factors, including sensory characteristics, cognitive processing, executive functions, family context, and opportunities for peer engagement (Karna & Stefaniuk, 2024; Lin et al., 2023; Zhai et al., 2023). The complexity and heterogeneity of ASD also mean that children with relatively high cognitive functioning may continue to display substantial social difficulties despite apparently adequate language or academic skills (Dell'Osso, 2025; Kiera, 2025). Consequently, improving social interaction remains a central objective of psychological, educational, and neurorehabilitative interventions for this population.

A variety of psychosocial interventions have been used to strengthen social functioning in children with ASD. Social cognition training, theory-of-mind interventions, resilience-oriented programs, peer-mediated approaches, and interactive activities have all demonstrated potential for improving social engagement and reciprocal behavior (Inci & Saglam, 2025; Jafari & Yousefi, 2023; Jouy, 2025). Nevertheless, treatment response is heterogeneous, and some children continue to exhibit persistent limitations in social participation even after receiving conventional behavioral or rehabilitative interventions. This has encouraged researchers to investigate complementary neurobiological approaches capable of modifying neural systems involved in social cognition and behavioral regulation. One such approach is transcranial direct current stimulation (tDCS), a non-invasive neuromodulation technique that delivers a weak continuous electrical current through electrodes placed on the scalp. Rather than directly eliciting action potentials, tDCS alters cortical excitability and may facilitate neuroplastic changes in targeted networks. Repeated stimulation sessions may produce

cumulative effects that extend beyond the immediate stimulation period (Aparicio et al., 2019). The dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) has attracted particular attention because of its role in executive control, behavioral regulation, response selection, cognitive flexibility, and the processing of socially relevant information.

A growing body of evidence suggests that tDCS can influence cognitive, emotional, and interpersonal processes mediated by prefrontal networks. Stimulation of the left DLPFC has been shown to modulate responses to social feedback and interpersonal evaluation (Allaert et al., 2020), while meta-analytic evidence suggests that tDCS can influence prosocial behavior and social decision-making depending on stimulation parameters and target regions (Yuan et al., 2021). Studies in different clinical populations have also demonstrated that tDCS can modify executive and regulatory processes associated with adaptive behavior (Garcia et al., 2020; Gibson et al., 2021; Wu et al., 2022). In neurodevelopmental populations, improvements in executive functioning following tDCS have been reported, indicating that stimulation of cortical regulatory systems may enhance capacities such as inhibitory control and working memory (Fattahi Andebil et al., 2018). Evidence specific to ASD is also emerging. Prefrontal tDCS has been associated with improvements in theory of mind, emotion regulation, and emotional-behavioral functioning in children with autism (Zemestani et al., 2022), while another study found beneficial effects of tDCS on executive functioning in children with ASD (Shamsi Halasu et al., 2023). Moreover, multisession stimulation of the right temporoparietal junction has been shown to improve mentalizing processes in individuals with autistic traits, supporting the broader proposition that neural systems underlying social cognition are responsive to non-invasive brain stimulation (Padrón et al., 2021). Despite these promising findings, relatively few controlled studies have directly examined whether tDCS can improve observable social interactions in young children with high-functioning ASD. Therefore, the present study aimed to determine the effectiveness of tDCS in improving overall social interaction and its components, including social reciprocity, social participation/avoidance, and negative or inappropriate social behaviors, in 6- to 10-year-old boys with high-functioning ASD.

Methods and Materials

The present study used a quasi-experimental pretest-posttest-follow-up design with an intervention group and a waiting-list control group. The statistical population consisted of boys aged 6 to 10 years with high-functioning ASD who attended comprehensive autism treatment and rehabilitation centers in Tehran between November 2025 and January 2026. Participants were selected using purposive sampling based on predefined eligibility criteria. A total of 30 eligible children were recruited and randomly assigned in equal numbers to the intervention and waiting-list control groups, with 15 participants in each group. Inclusion criteria comprised a confirmed diagnosis of ASD based on DSM-5 criteria by a qualified child psychiatrist or clinical psychologist, age between 6 and 10 years, an intelligence quotient of at least 85, absence of severe neurological disorders or contraindications to brain stimulation, absence of metallic cranial implants or active skin lesions at electrode placement sites, stable medication status, sufficient ability to cooperate with the intervention, and written informed consent from a parent or legal guardian. Exclusion criteria included withdrawal of consent, development of clinically significant adverse effects, major medication changes during the intervention period, excessive absence from treatment sessions, or insufficient cooperation with assessment procedures.

Social functioning was assessed using the Autism Social Skills Profile (ASSP), which consists of 49 items and measures three major dimensions of social functioning: social reciprocity, social participation/avoidance, and negative or inappropriate social behaviors. Items are rated on a four-point Likert scale, with negatively oriented items reverse-scored so that higher total and subscale scores reflect better social functioning. A researcher-developed demographic and clinical information form was also administered to collect background information regarding age, parental characteristics, treatment history, medication status, and previous rehabilitation services. The intervention group received 10 individual tDCS sessions over four weeks.

Stimulation was delivered at an intensity of 1 mA for 20 minutes per session. The anodal electrode was positioned over the left DLPFC, corresponding to the F3 site of the international 10-20 EEG system, while the reference electrode was placed according to the stimulation protocol. Participants were monitored throughout each session for discomfort or adverse effects. The control group did not receive active tDCS during the main study period and remained on the waiting list. Social functioning was assessed at pretest, immediately after the intervention, and one month later at follow-up. Data were analyzed using descriptive statistics and mixed repeated-measures analysis of variance. Bonferroni-adjusted pairwise comparisons were conducted when appropriate, and partial eta squared was reported as the effect-size index. Statistical analyses were performed using SPSS version 26 with the significance level set at 0.05.

Findings

The mean age of the children in the intervention group was 8.53 years (SD=0.51), while the corresponding mean in the control group was 8.47 years (SD=0.51). The two groups were therefore comparable in age and displayed broadly similar demographic characteristics. Descriptive analysis showed a clear pattern of improvement in the intervention group across all domains of social functioning. The mean total social interaction score in the intervention group increased from 97.54±9.71 at pretest to 117.19±8.84 at posttest and remained elevated at 115.20±8.96 at follow-up. In contrast, the control group showed only minimal change, with mean scores of 96.80±9.43 at pretest, 98.13±9.51 at posttest, and 97.40±9.46 at follow-up.

A similar pattern was observed for the social reciprocity component. The intervention-group mean increased from 39.47±4.62 at pretest to 46.73±4.28 at posttest and remained at 45.80±4.36 at follow-up, whereas the control-group means were 39.13±4.51, 39.73±4.46, and 39.40±4.42, respectively. For social participation/avoidance, the intervention-group mean increased from 30.20±3.62 to 36.53±3.31 and then remained at 35.93±3.38 at follow-up. The corresponding control-group scores were 30.07±3.56, 30.47±3.60, and 30.27±3.57. For the reverse-scored negative/inappropriate social behavior dimension, the intervention group improved from 27.87±3.48 at pretest to 33.93±3.14 at posttest and 33.47±3.22 at follow-up, while the control group remained comparatively stable at 27.60±3.41, 27.93±3.46, and 27.73±3.43.

Mixed repeated-measures ANOVA demonstrated a significant time effect for the total social interaction score, $F(2,56)=72.84$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.722$, as well as a significant group effect, $F(1,28)=16.41$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.369$. Most importantly, the group × time interaction was significant, $F(2,56)=58.96$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.678$, indicating that the pattern of change across time differed substantially between the two groups. Significant group × time interactions were also observed for social reciprocity, $F(2,56)=39.47$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.585$; social participation/avoidance, $F(2,56)=35.91$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.562$; and negative/inappropriate social behaviors, $F(2,56)=27.88$, $p<0.001$, partial $\eta^2=0.499$. Bonferroni comparisons further showed that the intervention group demonstrated significant improvements from pretest to posttest and from pretest to follow-up for the total score and all three components (all $p<0.001$). In contrast, differences between posttest and follow-up were not statistically significant, indicating maintenance of treatment gains over the one-month follow-up period. No significant pairwise differences were observed across the three assessments in the control group.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that tDCS was effective in improving overall social interaction and all measured components of social functioning in boys with high-functioning ASD. The significant group × time effects demonstrate that improvements were not merely attributable to the passage of time or repeated assessment, but rather followed a pattern specific to the intervention group. The largest effect was observed for the total social interaction score, although substantial effects were also evident for social reciprocity, social participation/avoidance, and negative or inappropriate social behaviors. These findings suggest that the impact of tDCS was broad rather than restricted to a single aspect of social behavior.

One plausible explanation is that anodal stimulation of the left DLPFC enhanced cortical excitability in neural systems involved in executive control, behavioral monitoring, response selection, and adaptation to changing social demands. Effective social interaction requires children to attend to social cues, inhibit inappropriate responses, flexibly adjust behavior, interpret feedback, and sustain reciprocal communication. Enhancement of prefrontal regulatory efficiency may therefore have facilitated more adaptive social responding. Improvement in social reciprocity may reflect greater capacity to initiate and maintain interactions and to respond more appropriately to interpersonal cues. Similarly, improved social participation may indicate greater behavioral readiness to engage in group or peer situations rather than withdraw from them. The improvement in the reverse-scored negative social behavior domain may also suggest enhanced self-regulation and reduced occurrence of behaviors that interfere with successful interaction.

The maintenance of treatment gains at the one-month follow-up is particularly important. The absence of a significant decline from posttest to follow-up suggests that the benefits of the intervention were not limited to the immediate period following stimulation. Repeated stimulation across multiple sessions may have produced cumulative neuroplastic changes that remained functionally relevant after the intervention ended. It is also possible that once children began to function more successfully in social situations, they encountered more opportunities for positive interpersonal reinforcement, which may have helped consolidate newly emerging behaviors. In this sense, the intervention may have initiated a reciprocal process in which neurological facilitation supported improved social behavior, and successful social experiences subsequently strengthened those behavioral gains.

Overall, the results support the potential use of tDCS as a complementary intervention for improving social functioning in children with high-functioning ASD. The findings should not be interpreted as suggesting that brain stimulation can replace established behavioral, educational, or rehabilitative interventions. Rather, tDCS may be most useful as an adjunctive approach that enhances neural readiness for social learning and behavioral adaptation. Within the parameters of the present protocol, repeated anodal stimulation of the left DLPFC was associated with significant and relatively stable improvements in overall social interaction, social reciprocity, social participation, and socially appropriate behavior. These findings provide preliminary support for the clinical potential of tDCS in neurorehabilitative programs designed to improve social functioning among children with high-functioning autism spectrum disorder.

فهرست منابع

References

Akbari, B. (2018). Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Rumination, Negative Automatic Thoughts, and Psychological Symptoms (Anxiety and Depression) in Patients with Major Depression. *Iranian Journal of Psychology and Behavioral Sciences* (15), 52-58.

Allaert, J., Raedt, R. D., Sánchez-López, Á., Baeken, C., & Vanderhasselt, M. A. (2020). Mind the Social Feedback: Effects of tDCS Applied to the Left DLPFC on Psychophysiological Responses During the Anticipation and Reception of Social Evaluations. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *17*(1), 131-141. https://doi.org/10.1093/scan/nsaa066

Aparicio, L. V., Rosa, V., Razza, L. M., Sampaio-Junior, B., Borrione, L., Valiengo, L., & Gattaz, W. F. (2019). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for preventing major depressive disorder relapse: Results of a 6-month follow-up. *Depression and Anxiety*, *36*(3), 262-268. https://doi.org/10.1002/da.22878

Clarke, P. J. F., Sprlyan, B. F., Hirsch, C. R., Meeten, F., & Notebaert, L. (2020). tDCS increases anxiety reactivity to intentional worry. *Journal of psychiatric research*, *120*, 34-39.

Dell'Osso, L. (2025). Autism spectrum disorder, social anxiety and obsessive-compulsive disorders: beyond the comorbidity. *BMC psychiatry*, *25*(1). https://doi.org/10.1186/s12888-024-06340-8

Fattahi Andebil, A., Saberi, H., & kazemi kavaki, a. (2018). Effectiveness of Cognitive behavioral group Play therapy and Transcranial Direct Current Stimulation on Executive Function of Working Memory And Response Inhibition

of Children with Attention Deficit- Hyperactivity Disorder. *Neuropsychology*, *4*(14), 73-90. https://doi.org/10.30473/clpsy.2019.42393.1369

Fisher, E., Rob, P., MacLennan, K., Mullally, S., Rodgers, J., & Tzemou, E. (2026). School Anxiety Experienced by Autistic Children: A Systematic Review of Contributing Factors. *School Mental Health*. https://doi.org/10.1007/s12310-026-09852-8

Garcia, S., Nalven, M., Ault, A., & Eskenazi, M. A. (2020). tDCS as a treatment for anxiety and related cognitive deficits. *International Journal of Psychophysiology*, *158*, 172-177. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.10.006

Gibson, B. C., Heinrich, M., Mullins, T. S., Yu, A. B., Hansberger, J. T., & Clark, V. P. (2021). Baseline Differences in Anxiety Affect Attention and tDCS-Mediated Learning. *Frontiers in human neuroscience*, *15*. https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.541369

Herrington, J. D., Maddox, B. B., Kerns, C. M., Rump, K., Worley, J. A., Bush, J. C., McVey, A. J., Schultz, R. T., & Miller, J. S. (2017). Amygdala Volume Differences in Autism Spectrum Disorder Are Related to Anxiety. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *47*(12), 3682-3691. https://doi.org/10.1007/s10803-017-3206-1

Inci, R., & Saglam, M. (2025). Investigation of the effect of interactive art activity program on repetitive behaviors, social skills and parents' emotions in children with autism spectrum disorder. *Advances in Autism*, *11*(1), 5-18. https://doi.org/10.1108/AIA-06-2024-0041

Jafari, R., & Yousefi, R. (2023). The effectiveness of social cognition training based on theory of mind on stereotyped behaviors, social interaction, and empathy in children with autism spectrum disorder. *Tabriz University Psychology Journal*, *18*(1), 129-146. https://psychologyj.tabrizu.ac.ir/article_16944_30ea8f2366e42cca4192d031c63379c2.pdf

Jahedi Delivand, S., Tarkhan, M., Ahadhi, M., & Qodsi, P. (2024). The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) treatment on the quality of life and anxiety of children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Scientific Research Journal of School and Virtual Learning*, *12*(3), 29-38. https://etl.journals.pnu.ac.ir/article_11639.html?lang=en

Jouy, L. (2025). The Effect of Resilience Skills Training on Improving Social Interactions in Children with Autism Spectrum Disorder. Neyshabur. https://civilica.com/doc/2339146

Karna, W., & Stefaniuk, I. (2024). The Influence of Peer Relationships on the Social Development of Children with Autism Spectrum Disorder. *Iranian Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *2*(4), 10-18. https://doi.org/10.61838/kman.jndd.2.4.2

Kiera, A. (2025). Experiences of Interoception and Anxiety in Autistic Adolescents: A Reflexive Thematic Analysis. *Autism*. https://doi.org/10.1177/13623613251314595

Lin, X., Lin, L., Wang, X., Li, X., Cao, M., & Jing, J. (2023). Association between Mothers' Emotional Problems and Autistic Children's Behavioral Problems: The Moderating Effect of Parenting Style. *International journal of environmental research and public health*, *20*(5).

Moise, M., Andrei, L. E., Mihăilescu, I., Buică, A., & Rad, F. (2025). Aggression and Risk Behaviors in a Group of Adolescents With High-Functioning Autism. *Children*, *12*(7), 852. https://doi.org/10.3390/children12070852

Narimani, M., Pouresmali, A., alizadeh goradel, j., & Mowlaie, M. (2017). The effect of trancecranial Direct Current Stimulation (tDCS) on reduction of craving, depression and anxiety in students with tramadol abuse: Preliminary study [Research]. *Research on Addiction*, *10*(40), 87-102. http://etiadpajohi.ir/article-1-1115-en.html

Padrón, I., García-Marco, E., Moreno, I., Birba, A., Silvestri, V., León, I., Álvarez, C. J., López, J., & Vega, M. d. (2021). Multisession Anodal tDCS on the Right Temporo-Parietal Junction Improves Mentalizing Processes in Adults With Autistic Traits. *Brain Sciences*, *12*(1), 30. https://doi.org/10.3390/brainsci12010030

Reddy, P., & J, A. (2023). Diagnosis of Autism in Children Using Deep Learning Techniques by Analyzing Facial Features. *Engineering Proceedings*, *59*(1).

Sergiou, C. S., Santarnecchi, E., Romanella, S. M., Wieser, M. J., Franken, I. H. A., Rassin, E., & Josanne, D. M. v. D. (2020). tDCS Targeting the Ventromedial Prefrontal Cortex Reduces Reactive Aggression and Modulates Electrophysiological Responses: A HD-tDCS/EEG Randomized Controlled Trial in a Forensic Population. https://doi.org/10.31234/osf.io/cjgdt

Shamsi Halasu, M., Tabatabaei, S. M., & Azmodeh, M. (2023). Comparing the Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and Cognitive Rehabilitation on Executive Functions in Children with Autism Spectrum Disorders. *Scientific Journal of Pajouhan*, *21*(2), 113-121. https://doi.org/10.61186/psj.21.2.113

Smits, F., Geuze, E., Schutter, D. J., Honk, J. v., & Gladwin, T. E. (2021). Effects of tDCS During Inhibitory Control Training on Performance and PTSD, Aggression and Anxiety Symptoms: A Randomized-Controlled Trial in a Military Sample. *Psychological medicine*, *52*(16), 3964-3974. https://doi.org/10.1017/s0033291721000817

Soqandi, K., Rezaei, M., & Amirabadizadeh, A. (2024). Effectiveness of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Happiness and Symptoms of Military-Related Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD). Seventh International Conference on Psychology, Educational Sciences, and Social Studies, Hamedan.

Tan, C., Song, H., Ma, S., Liu, X., & Zhao, Y. (2024). Autistic Traits and Aggressive Behavior in Chinese College Students: A Serial Mediation Model and the Gender Difference. *Psychology research and behavior management*, 1385-1397. https://doi.org/10.2147/PRBM.S451028

Tezcan, M. E., Çaltıner, Ş. N. İ., Demirel, H. R., Korucu, B. N., Şen, B., & Ekici, F. (2025). The Relationship Between Executive Functioning and Burnout, Depressive, Anxiety and Broad Autism Phenotype Symptoms in Parents of Children With Autism Spectrum Disorder. *Online Türk Sağlık Bilimleri Dergisi*, *10*(2), 170-177. https://doi.org/10.26453/otjhs.1672755

Wu, Y., Tang, L., Shi, X., Zhou, Z., Li, Y., & Shan, C. (2022). Effects of tDCS on Depression and Comorbid Generalized Anxiety Disorder: A Brain Function Imaging Case Report. *Frontiers in Neurology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fneur.2022.879339

Yan, Y., & Abdullah, E. B. (2025). Clinical Interventions for Depression and Anxiety in Mothers of Children With Autism Spectrum Disorder in China. *Ls*, *1*(3), 1-27. https://doi.org/10.71204/srdzv858

Yuan, B., Tolomeo, S., Yang, C., Wang, Y., & Yu, R. (2021). tDCS Effect on Prosocial Behavior: A Meta-Analytic Review. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *17*(1), 26-42. https://doi.org/10.1093/scan/nsab067

Zemestani, M., Hoseinpanahi, O., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2022). The Impact of Prefrontal Transcranial Direct Current Stimulation (<scp>tDCS</Scp>) on Theory of Mind, Emotion Regulation and Emotional-behavioral Functions in Children With Autism Disorder: A Randomized, Sham-controlled, and Parallel-group Study. *Autism Research*, *15*(10), 1985-2003. https://doi.org/10.1002/aur.2803

Zhai, J., Li, X., Zhou, Y., Fan, L., Xia, W., Wang, X., Li, Y., Hou, M., Wang, J., & Wu, L. (2023). Correlation and Predictive Ability of Sensory Characteristics and Social Interaction in Children With Autism Spectrum Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1056051

Zoghipaydar, M., Hasany Khosh, Z., Yar Mohammadi Wasel, M., & Mohagheghi, H. (2022). Comparing of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) and Methadone Maintenance Treatment(MMT) on Emotion Regulation, Distress Tolerance and Decreased Craving in People with Substance Use Disorder(SUD). *Neuropsychology*, *7*(27), 95-109. https://doi.org/10.30473/clpsy.2021.59493.1606