

Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on the Phonological Awareness of Dyslexic Children

Mehdi Rezaei¹, Fatemeh Peigodari²,
Mohammad Reza Asadi Younesi³

Received: 2024/4/28

Revised: 2025/3/9

Accepted: 2024/6/6

اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر آگاهی واج‌شناختی

کودکان مبتلا به اختلال نارساخوانی

مهدی رضایی^۱، فاطمه پی‌گوداری^۲،

محمد رضا اسدی یونسی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ تجدید نظر: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷

Abstract

Objective: Recently, transcranial direct electrical stimulation (tDCS) has been the focus of research to improve phonological awareness. This study was conducted with the aim of evaluating the effectiveness of transcranial direct electrical stimulation (tDCS) on the phonological awareness of dyslexic children. **Method:** The study used a pretest-posttest control group design with one-month follow-up. The statistical population consisted of all dyslexic students (8–12 years old) who were referred to Baharestan Education and Training Consulting Center (Tehran Province/Iran) during November 2023 and April 2024, among which 40 students (27 boys and 13 girls) were selected by convenience sampling method. The students were randomly assigned into two experimental (active stimulation; n=20) and control (sham stimulation; n=20) groups. Bilateral tDCS was applied over the temporal-parietal cortex (anode electrode between TP7 and P7; cathode electrode between TP8 and P8). The experimental and control groups received twelve 20-minute sessions of active and sham stimulation, respectively. The List of Teacher's Dyslexia Symptoms, Reading and Dyslexia Test (NEMA), Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition (SBIS-5), and phonological awareness were used to collect the required data. **Results:** The results showed that tDCS led to the improvement of phonemic awareness (phonetic composition, intersection of phonemes, recognition of words with the same initial and final phonemes, naming and deletion of the initial and final phonemes, and eliminating the middle vowel) ($p < 0.01$); however, it had no significant effect on syllabic intersection, rhyme recognition, and homogeneity intersection ($p > 0.05$). **Conclusion:** tDCS is, thus, a promising intervention that strengthens phonological awareness abilities. So, clinical therapists can use it as a complementary intervention.

Keywords: Transcranial direct electrical stimulation (tDCS), Phonological awareness, Dyslexia, Children

چکیده

هدف: به‌تازگی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) برای بهبود آگاهی واج‌شناختی مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است. این پژوهش با هدف اثربخشی tDCS بر آگاهی واج‌شناختی کودکان نارساخوان انجام شد. **روش:** در این مطالعه، از طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل با دوره پیگیری یک‌ماهه استفاده شد. جامعه آماری را تمامی دانش‌آموزان نارساخوان (۸ تا ۱۲ ساله) مراجعه‌کننده به مرکز مشاوره آموزش و پرورش بهارستان (استان تهران) در آذرماه ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ تشکیل می‌دادند که از بین آنها ۴۰ دانش‌آموز (۲۷ پسر و ۱۳ دختر) به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. دانش‌آموزان به‌طور تصادفی در دو گروه آزمایش (تحریک فعال، ۲۰ نفر) و کنترل (تحریک ساختگی، ۲۰ نفر) قرار گرفتند. tDCS دوجانبه در کرتکس گیجگاهی-آهیانه‌ای (الکترود آند بین TP7 و P7، الکترود کاتد بین TP8 و P8) نصب شد. گروه آزمایش و کنترل ۱۲ جلسه (۲۰ دقیقه‌ای) به‌ترتیب تحریک واقعی و ساختگی را دریافت کردند. برای جمع‌آوری داده‌ها از فهرست نشانه‌های نارساخوانی، آزمون خواندن و نارساخوانی (نما)، ویراست پنجم آزمون هوش استنفورد-بینه و آگاهی واج‌شناختی استفاده شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که tDCS منجر به بهبودی آگاهی واجی (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) شد ($p < 0.01$); ولی اثربخشی معنی‌داری بر آگاهی درون‌هجایی و آگاهی‌هجایی نداشت ($p > 0.05$). **نتیجه‌گیری:** بنابراین، tDCS یک مداخله امیدبخش است که توانایی‌های آگاهی واجی را تقویت می‌کند و درمانگران بالینی می‌توانند از آن به‌عنوان یک مداخله مکمل استفاده کنند.

واژه‌های کلیدی: تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای، نارساخوانی، آگاهی واج‌شناختی.

1. **Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran. Tel: 09383354916 E-mail: Mehdi.rezaei15@birjand.ac.ir
2. M.A. of Educational Psychology, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran
3. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran

۱. نویسنده مسئول: استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

ایمیل: Mehdi.rezaei15@birjand.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد روان‌شناسی تربیتی، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

مقدمه

نارساخوانی^۱، یک اختلال عصبی- تحولی است که با وجود آموزش‌های کافی، دستگاه حسی سالم و هوشیهر بهنجار، یادگیری خواندن با دشواری مواجهه می‌شود و روان‌خوانی، درک مطلب، صحبت کردن و هجی کردن با نقص چشمگیری همراه می‌شود (انجمن روان‌شناسی آمریکا، ۲۰۱۳). امروزه، نارساخوانی به یک چالش بزرگ بهداشت عمومی تبدیل شده و شیوع کلی آن ۷/۱۰ درصد برآورد شده است. شیوع آن برای دانش‌آموزان پسر (۹/۲۲ درصد) بیشتر از دختران ۴/۶۶ درصد برآورد شده است (لیپینگ یانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲)، شیوع این اختلال در ایران حتی از آمار جهانی بالاتر بوده و ۱۰ درصد گزارش شده است که زمینه ترک تحصیل را هموار می‌کند (صداقتی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین، طراحی پژوهش‌های مختلف برای سبب‌شناسی و درمان این دسته از افراد ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از مشکلات اساسی و بنیادین افراد مبتلا به نارساخوانی که باید مورد توجه بالینگران قرار بگیرد، آگاهی واج‌شناختی است. براساس فرضیه نقص واج- شناختی، مشکل اصلی نارساخوانی نقص در آگاهی واج‌شناختی است که برای رمزگشایی دقیق کلمه‌ها ضروری است. در واقع آگاهی واج‌شناختی به توانایی درک و دست‌کاری آوای کلمه‌ها گفته می‌شود که به‌طور معمول با تکالیفی مانند حذف، جایگزینی، ترکیب و معکوس کردن همراه است (مورا^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). نقص واج‌شناختی در میان نارساخوان‌ها قبل از شروع خواندن و حتی زمان تولد ظاهر می‌شود و به‌طور لزوم منبع اصلی تنوع در توانایی خواندن است. ازاین‌رو، یک نقص اصلی (یا حداقل یک نقص اصلی) در میان خوانندگانی (نارساخوان یا غیرنارساخوان) است که دچار مشکل هستند (شار^۴، ۲۰۲۱). افرادی که در آگاهی واج‌شناختی تأخیر رشدی دارند، به احتمال زیاد در معرض نارساخوانی نیز قرار می‌گیرند چون نمی‌توانند بین صدای حروف الفبا و نویسه

(شکل نوشتاری) ارتباط برقرار کنند (بیونگ^۵، ۲۰۱۲). از آنجایی که یکی از پیش‌بینی‌کننده‌های مهم نارساخوانی آگاهی واج‌شناختی است، روش‌های درمانی بسیاری مثل توان‌بخشی شناختی، درمان معطوف به حافظه فعال، قصه‌گویی، آموزش آگاهی واج شناختی تربیت شنیداری، نوروفیدبک (احدی، ۱۴۰۰) و تحریک فراجمجمه‌ای^۶ (روفر^۷ و همکاران، ۲۰۱۹) برای تقویت آگاهی واج‌شناختی استفاده شده است.

با توجه به اینکه ریشه نارساخوانی و آگاهی واج- شناختی به مشکلات عصب‌شناختی نسبت داده می- شود، به‌تازگی تحریک فراجمجمه‌ای برای افزایش و بهبود آگاهی واج‌شناختی مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است (لازارو^۸، ۲۰۲۱)، انتظار می‌رود استفاده از روش‌های تحریک فراجمجمه‌ای با بهبود مهارت‌های خواندن از جمله آگاهی واج‌شناختی همراه باشد، برای مثال پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بدکنشی در نواحی گیجگاهی- پس‌سری^۹ (ریچلان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰) و گیجگاهی- آهیانه‌ای^{۱۱} (تورکر و هارتویگسن^{۱۲}، ۲۰۲۱؛ کوزوسکی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹) با اختلال در واج‌آگاهی و اختلال در پردازش شبه‌کلمه‌ها^{۱۴} و کلمه‌های آشنا^{۱۵} و ناآشنا^{۱۶} مرتبط است. درواقع قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ، ناکلمه‌ها و کلمه‌های ناآشنا را پردازش می‌کند و قشر گیجگاهی- پس‌سری چپ کلمه‌های آشنا را پردازش می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). به عبارت دقیق‌تر سه مدار^{۱۷} درهم‌تنیده با خواندن ارتباط دارد و در نارساخوانی دچار بدکنشی می‌شوند: قشر پیشانی تحتانی^{۱۸} چپ (ذخیره‌سازی اطلاعات صوتی و متوالی‌سازی اطلاعات^{۱۹} به‌طورکلی)؛ قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای پشتی چپ (مرکز رمزگشایی^{۲۰} برای تبدیل نویسه- واج^{۲۱}) قشر گیجگاهی- پس‌سری (ناحیه شکل کلمه بصری که برای کدگذاری املائی^{۲۲} زبان نوشتاری^{۲۳} تخصص‌یافته) (پوگ^{۲۴} و همکاران، ۲۰۰۱؛ تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱).

بنابراین، با توجه به اینکه کم‌کاری در قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ با ناتوانی تبدیل واج- نویسه (آگاهی واج‌شناختی) ارتباط تنگاتنگی دارد (کوزوسکی و همکاران، ۲۰۱۹؛ دبسکا^{۲۵} و همکاران، ۲۰۱۹)، به کاربرد روش‌های تحریک فراجممه‌ای برای بهبود مشکلات نارساخوانی بیشتر توجه شده‌اند. درواقع، براساس فرضیهٔ نقص نوسان عصبی^{۲۶}، علت اساسی بدکارکردی این نواحی مغزی در افراد نارساخوان، پاسخ‌دهی تصادفی نورون‌های آنها به محرک‌های یکسان (مثل صدا یا واج خاص، محرک دیداری خاص) است. به عبارت دیگر، نوسان عصبی از نوسان‌های انتشار انتقال‌دهنده‌های عصبی در شکاف سیناپسی و نوسان‌های فیزیکی مجراهای یونی (مثل فعالیت نامنظم مجراهای سدیم و پتاسیم) ناشی می‌شود که روش‌های تحریک فراجممه‌ای می‌توانند این نوسان‌ها را کاهش دهند و در راستای متعادل‌سازی فعالیت نورونی مؤثر باشند (هاناکاک^{۲۷} و همکاران، ۲۰۱۷؛ لازارو و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از روش‌های تحریک فراجممه‌ای، تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجممه‌ای^{۲۸} (tDCS) است. tDCS، یک روش غیرتهاجمی است که شامل کاربست جریان الکتریکی ضعیف و ثابت (۱ تا ۲ میلی آمپر) بوده که از راه دو الکترود آند^{۲۹} (افزایش تحریک‌پذیری) کاتد^{۳۰} (کاهش تحریک‌پذیری) انتقال داده می‌شوند (ریوس^{۳۱} و همکاران، ۲۰۱۸). درواقع الکترود آند بر ناحیه‌ای از جمجمه نصب می‌شود که انتظار می‌رود در اختلال موردنظر (برای مثال نارسا- خوانی) فعالیت آن ناحیه باید تقویت شود (برای مثال ناحیه گیجگاهی- آهیانه‌ای پستی چپ) (کنسر و آنتونیتی^{۳۲}، ۲۰۱۸). در این راستا، رحیمی^{۳۳} و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- فوقانی^{۳۴} منجر به بهبود پردازش شنیداری مرکزی^{۳۵} در افراد نارساخوان می‌شود. رحیمی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی دیگر با استفاده از tDCS نشان دادند که tDCS دوجانبه در

قشر گیجگاهی- فوقانی، علاوه بر بهبود مهارت‌های خواندن (سرعت و دقت خواندن کلمه‌های کم‌بسامد و شبه‌کلمه‌ها) چند جنبه از پردازش شنوایی کودکان نارساخوان ازجمله وضوح زمانی^{۳۶}، درک صدای گفتار و حافظهٔ شنیداری- کلامی کوتاه‌مدت را بهبود می‌بخشد. در پژوهش میرهادی^{۳۷} و همکاران (۲۰۲۳) نیز ترکیب tDCS دوجانبه بر ناحیهٔ اتصال قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای و آموزش آگاهی واج‌شناختی، با بهبود توانایی خواندن غیرکلمه و آگاهی واج‌شناختی (تشخیص قافیه و قابلیت حذف واج) همراه بود؛ ولی در ترکیب واجی (نوعی آگاهی واج‌شناختی) و خواندن کلمه‌های پربسامد و کم‌بسامد بهبودی معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه، لازارو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای باعث بهبود توانایی خواندن، بهبود حافظهٔ کاری، توجه دیداری-فضایی و نامگذاری خودکار می‌شود ولی در بهبود آگاهی واج‌شناختی (ترکیب واجی) اثر معنی‌داری نداشت. درنهایت، پژوهش ترکلتاب^{۳۸} و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که tDCS گیجگاهی- آهیانه‌ای با وجود اثربخشی بر کارایی خواندن، بر رمزگردانی واج‌شناختی و خواندن ناکلمه مؤثر نیست.

با بررسی پیشینهٔ پژوهشی در زمینهٔ کاربست tDCS در کودکان مبتلا به نارساخوانی، چندین خلأ پژوهشی وجود دارد که نیاز به پژوهش بیشتر را برجسته می‌سازد: (۱) اگر چه بیشتر پژوهش‌های ناحیهٔ گیجگاهی- آهیانه‌ای را هدف تحریک قرار داده‌اند، اما هیچ اتفاقی نظری در مورد بهترین محل قرارگیری الکترودها وجود ندارد (کنسر و آنتونیتی، ۲۰۱۸؛ کوستانزو^{۳۹} و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، برای رسیدن به یک ناحیهٔ هدف که مورد توافق بیشتر پژوهش‌ها باشد، به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. با این وجود کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸) با فراتحلیل ۹ مطالعه، گزارش کردند که tDCS آنودالی، روی قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ، بیشترین ناحیهٔ مورد استفاده برای

بهبود مهارت‌های خواندن است. البته در زمینه انتخاب ناحیه مغزی آگاهی واج‌شناختی برای تحریک فرا-جمجمه‌ای اطلاعات کمی وجود دارد چون علاوه بر نواحی گیجگاهی، نواحی پیشانی هم با آگاهی واج-شناختی ارتباط تنگاتنگ دارد (ماتر^{۴۰} و همکاران، ۲۰۲۰). بعضی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند tDCS اثر معنی‌داری در بهبودی برخی مهارت‌های خواندن ندارد، برای مثال در پژوهش ریوس و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد tDCS (نصب آند بین نواحی گیجگاهی میانی و گیجگاهی خلفی چپ و کاتد در قسمت فوقانی راست، به مدت ۵ روز متوالی و با جریان ۲ میلی‌آمپر) با بهبودی در تکالیف ناکلمه‌ای همراه بود؛ ولی در خواندن تعداد کلمه‌ها اثر معنی‌داری نداشت. همچنین، کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸) در یک پژوهش مروری گزارش کردند tDCS در نواحی پیشانی چپ، گیجگاهی-آهیانه‌ای چپ و مخچه راست، در بهبود خواندن (به‌ویژه در خوانندگانی که پیش‌تر ماهر بودند) مؤثر نیست. بهورینگر^{۴۱} و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که tDCS کاندی در ناحیه مخچه با وجود اینکه عملکرد حافظه کاری-کلامی را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد، اما تأثیر معنی‌داری بر خواندن کلمه‌ها ندارد. (۳) از سوی دیگر، اثربخشی tDCS بر بهبودی آگاهی واج‌شناختی (رودریگودی‌آلمیدا^{۴۲} و هانسن^{۴۳}، ۲۰۱۹؛ میرهادی و همکاران، ۲۰۲۳) نسبت به مهارت‌های خواندن (کنسر و آنتونیتی، ۲۰۱۸؛ تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱) کمتر مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است و مهم‌تر اینکه در میان محدود پژوهش‌هایی که اثربخشی tDCS بر بهبودی آگاهی واج‌شناختی را بررسی کرده‌اند (ترکل‌تاب و همکاران ۲۰۱۲؛ یانگر^{۴۴} و همکاران، ۲۰۱۶؛ روفنر و همکاران، ۲۰۱۹؛ میرهادی و همکاران، ۲۰۲۳) نتایج ناهمخوان است. این ناهمخوانی شاید ناشی از این باشد که آگاهی واج‌شناختی از خرده‌مهارت‌های زیاد تشکیل شده است (آگاهی واجی، آگاهی هجایی و درون‌هجایی) که هر پژوهش انواع متفاوتی از آنها را

بررسی کرده است. از این‌رو، در پژوهش حاضر همه خرده‌مهارت‌های آگاهی واج‌شناختی (ده مهارت: تقطیع واجی، ترکیب واجی، تشخیص کلمه‌ها با واج آغازین/ پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین/ میانی و پایانی، تشخیص قافیه، تشخیص تجانس) پژوهش شده‌اند. درواقع، در هیچ‌کدام از پژوهش‌های گذشته، ابعاد ده‌گانه آگاهی واج‌شناختی پژوهش نشده‌اند.

به صورت کلی، با توجه به روند رو به رشد و نوید-بخش استفاده از تحریک‌های الکتریکی فراجمجمه‌ای و درمان‌های غیرتهاجمی برای بهبود اختلال نارسا-خوانی و بهبودی خفیف در آموزش‌های سنتی، این پژوهش با هدف اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر مهارت‌های آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی انجام شد. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش است که آیا تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی اثربخشی معنی‌داری دارد؟

روش

این پژوهش یک کارآزمایی بالینی دوسوکور بود که در آن شرکت‌کنندگان و ارزیاب و ادمین tDCS از گروه-بندی و فرضیه‌ها مطلع نبودند. در این پژوهش، از طرح نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شد و از جهت هدف، کاربردی محسوب می‌شود. جامعه آماری پژوهش، شامل تمامی دانش‌آموزان نارساخوان مقاطع تحصیلی دوم تا ششم شهرستان بهارستان (استان تهران) بودند که از آذر ماه ۱۴۰۲ تا ادریبهشت ۱۴۰۳ به مرکز مشاوره آموزش و پرورش شهرستان بهارستان (استان تهران) مراجعه کرده‌اند. از این جامعه آماری ۴۰ کودک نا-رساخوان، به روش نمونه‌گیری هدفمند به‌عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. برای محاسبه حجم نمونه از جدول کوهن استفاده شد. براساس جدول محاسبه حجم نمونه کوهن برای پژوهش‌های آزمایشی، تعداد

۴۰ نفر (با توان آزمون ۰/۹۵ در سطح آلفای ۰/۰۵ و با حجم اثر ۰/۴۰) استفاده شد. شرکت کنندگان به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش (۲۰ نفر) و کنترل (۲۰ نفر) قرار گرفتند. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از دریافت تشخیص نارساخوانی (براساس فهرست نشانگان نارساخوانی معلم و مصاحبه بالینی با والد/ معلم براساس معیارهای DSM-V و آزمون خواندن و نارساخوانی)، محدوده سنی ۸ تا ۱۲ سال، برخورداری از هوشبهر نرمال (هوشبهر ۸۵ تا ۱۱۰ براساس آزمون استنفورد بینه-۵)، راست دست بودن، رضایت والدین و دانش آموزان برای شرکت در پژوهش. ملاکهای خروج نیز عبارت بودند از چپ دست بودن، دریافت همزمان درمان‌های دیگر، سابقه شرکت در درمان‌های تحریک مغزی، داشتن مشکلات جسمی- حرکتی، غیبت بیش از دو جلسه در جلسه‌های درمانی، تمایل نداشتن به ادامه تحصیل، داشتن اختلال‌های روان‌پریشی، سایر اختلال‌های عصبی- تحولی، عصب‌شناختی براساس معیارهای DSM-V، صرع، اختلال‌های حسی (مثل دیداری و شنیداری)، وجود ضربان‌ساز قلبی و کاشت سایر قطعه‌های فلزی دیگر در بدن.

ابزار

فهرست نشانگان نارساخوانی معلم^{۴۵}

این ابزار توسط بذرافشان مقدم (۱۳۷۶) ساخته شده است. این فهرست شامل ۱۵ گویه و به صورت بله و خیر است که زمان خواندن متن به وسیله دانش آموز، معلم آن را پر و بررسی می‌کند، به این صورت که در کلاس درس معلم از آزمودنی می‌خواهد که از روی کتاب فارسی خود شروع به خواندن مطالب کند. سپس معلم متناسب با اشکال‌های دانش آموز گویه‌های مربوط را در فرم مورد نظر با علامت ضربدر مشخص می‌کند. برای بررسی این فرم اگر ۵ مورد و یا بیشتر علامت زده شود، دانش آموز مشکوک به نارساخوانی خواهد بود و برای ارزیابی بیشتر و دقیق‌تر به مرحله بعد (مصاحبه بالینی با والد/ معلم) ارجاع داده

خواهد شد. دانش آموزانی که براساس این فرم در ۹۰ درصد موارد مشکلی نداشته‌اند، به صورت افراد بهنجار شناخته می‌شوند. روایی سازه‌ای و محتوایی آن نیز در پژوهش بذرافشان مقدم (۱۳۷۶) تأیید شده و در پژوهش پاکدامن ساوجی (۱۳۷۹)، آلفای کرونباخ آن ۰/۹۲ گزارش شده است. از این آزمون برای غربالگری اولیه استفاده شد.

آزمون خواندن و نارساخوانی^{۴۶} (نما): آزمون نما توسط کرمی نوری و مرادی در سال ۱۳۸۴ طراحی و در پنج پایه تحصیلی شهر تهران، سنجندج، تبریز و روی ۱۶۱۴ دانش آموز (۷۷۰ دختر و ۸۴۴ پسر) هنجاریابی شده است. این آزمون ۱۰ خرده‌آزمون زیر را دارد: درک مطلب، درک کلمه‌ها، زنجیره کلمه‌ها، خواندن کلمه‌ها (کلمه‌ها با بسامد بالا، متوسط و کم)، قافیه، خواندن ناکلمه‌ها/ شبه کلمه‌ها، حذف آواها، نامیدن تصاویر، نشانه‌های مقوله و نشانه‌های حروف (مردای و همکاران، ۱۳۹۵). در هر خرده‌آزمون برای هر پاسخ صحیح ۱ نمره در نظر گرفته می‌شود و با اجرای این آزمون در نهایت ۱۱ نمره به دست می‌آید. ۱۰ نمره مربوط به خرده‌آزمون‌ها و ۱ نمره کل به عنوان عملکرد خواندن در نظر گرفته می‌شود. نمره کلی فرد برحسب پایه به نمره هنجار تبدیل می‌شود و در صورتی که ۲ انحراف استاندارد پایین‌تر از میانگین باشد به عنوان نارساخوان تلقی می‌شود. ضریب آلفای کرونباخ برای نمره کل این آزمون ۰/۸۱ به دست آمد. ضریب آلفای کرونباخ برای آزمون‌های کلمه‌ها با بسامد بالا ۰/۹۷، با بسامد متوسط ۰/۹۸، با بسامد کم ۰/۹۸، قافیه ۰/۸۹، زنجیره کلمه‌ها ۰/۹۵، نامیدن تصاویر ۰/۶۷، درک کلمه‌ها ۰/۷۱، درک متن ۰/۴۸، حذف آواها ۰/۹۵، شبه کلمه‌ها ۰/۹۷ و خواندن کلمه‌ها ۰/۹۷ به دست آمد (مردای و همکاران، ۱۳۹۵).

ویراست پنجم آزمون هوش استنفورد- بینه^{۴۷} (SBIS_5)

این آزمون به شناسایی دقیق عملکرد آزمودنی در ده خرده‌آزمون و با تأکید بر دو جنبه کلامی^{۴۸} و غیر-کلامی^{۴۹} می‌پردازد. میانگین این آزمون ۱۰۰ و انحراف استاندارد آن ۱۵ است و میانگین خرده‌مقیاس‌ها ۱۰ و انحراف معیار آن ۳ است. هریک از این دو حیطه ۵

خرده‌آزمون استدلال سیال^{۵۰}، دانش^{۵۱}، استدلال کمی^{۵۲}، پردازش دیداری-فضایی^{۵۳} و حافظه کاری^{۵۴} منظور شده است. ضریب آلفای کرونباخ برای نمره کل ۰/۹۸، مقیاس غیرکلامی ۰/۹۵ و کلامی ۰/۹۶ به دست آمده است (روید^{۵۵}، ۲۰۱۲). در پژوهش فورنی^{۵۶} و همکاران (۲۰۱۸) پایایی نمره‌های ترکیبی مرتبط با نارساخوانی حدود ۰/۹۵ به دست آمده است که این ضریب، اعتبار مطلوبی است. جعفری و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که آزمون هوش استنفورد-بینه در خرده‌آزمون‌های حافظه فعال کلامی، دانش غیر-کلامی، دانش کلامی، استدلال سیال غیرکلامی و حافظه فعال غیرکلامی دارای روایی بیشتر از ۰/۸۰ دارد. در این پژوهش از فرم کوتاه آزمون هوش استنفورد-بینه^{۵۷} که شامل دو مقیاس استدلال سیال غیرکلامی (مجموعه اشیا و ماتریس‌ها) و دانش کلامی (واژگان) استفاده شده است. روایی هم‌زمان بین فرم کوتاه و فرم بلند بسیار مطلوب ($r=0/89$) گزارش شده است (تامی^{۵۸} و همکاران، ۲۰۱۷).

آزمون آگاهی واج‌شناختی^{۵۹}

این آزمون شامل ۱۰ خرده‌آزمون است که در مجموع سه مهارت مهم زیربنایی شامل آگاهی واجی (۷ خرده‌آزمون)، آگاهی هجایی (۱ خرده‌آزمون) و درون-هجایی (۲ خرده‌آزمون) را سنجش می‌کند. هرکدام از خرده‌آزمون‌ها شامل ۱۰ گویه هستند. خرده‌آزمون‌ها عبارتند از: تقطیع هجایی^{۶۰} ($\alpha = 0/87$)، تشخیص تجانس^{۶۱} ($\alpha = 0/84$)، تشخیص قافیه^{۶۲} ($\alpha = 0/86$)، ترکیب واجی^{۶۳} ($\alpha = 0/93$)، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین یکسان^{۶۴} ($\alpha = 0/89$)، تشخیص کلمه‌های با واج پایانی یکسان^{۶۵} ($\alpha = 0/90$)، تقطیع واجی^{۶۶} ($\alpha = 0/96$)، نامیدن و حذف واج پایانی^{۶۷} ($\alpha = 0/95$)، حذف واج میانی^{۶۸} ($\alpha = 0/89$)، نامیدن و حذف واج آغازین^{۶۹} ($\alpha = 0/87$). این آزمون با پایایی کلی ۰/۹۹ با هدف بررسی آگاهی واج‌شناختی دانش‌آموزان طراحی و ساخته شده است و از روایی محتوایی و سازه‌ای مطلوبی برخوردار است (سلیمانی و

دستجردی، ۱۳۸۵). این آزمون در مورد هریک از شرکت‌کنندگان به صورت انفرادی و در اتاقی آرام و ساکت انجام شد که با توجه به هدف پژوهش، تمام ۱۰ خرده‌آزمون اجرا شدند. در این آزمون، آگاهی واجی شامل ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی؛ آگاهی-هجایی شامل تقطیع هجایی، آگاهی درون‌هجایی شامل تشخیص تجانس و قافیه می‌باشد.

روش اجرا

با توجه به ملاحظه‌های اخلاقی و بعد از دریافت کد اخلاق از کمیته اخلاق دانشگاه بیرجند (IR.BIRJAND.REC.1402.015) نمونه‌گیری شروع شد. در این راستا، دانش‌آموزان مشکوک به نارسا-خوانی که به مرکز اختلال‌های یادگیری آموزش‌وپرورش شهرستان بهارستان مراجعه کرده بودند، شناسایی شدند. سپس با والدین آنها ارتباط برقرار شد و شرایط پژوهش و شیوه‌نامه درمانی توضیح داده شد. در صورت موافقت والدین و امضای فرم رضایت آگاهانه، آزمون فهرست نارساخوانی به آنها تحویل داده شد تا به وسیله معلم دانش‌آموز تکمیل شود. در این مرحله به والدین سه روز زمان داده می‌شد تا در صورت موافقت نهایی فرم تکمیل‌شده (توسط معلم) را به مرکز اختلال‌های یادگیری تحویل دهند. دانش‌آموزانی که والدین آنها رضایت نهایی را داده بودند، ارزیابی بیشتر (بررسی فهرست نشانگان نارساخوانی، مصاحبه بالینی با والد، ارزیابی بالینی دانش‌آموز و انجام تست هوش) شدند. سپس دانش‌آموزان به منظور جایگزینی تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل (از تارنمای www.sealedenvelope.com در پنج بلوک ۸ تایی قرار گرفتند و برای هر نفر یک کد اختصاصی در نظر گرفته شد. در اولین و آخرین جلسه درمان، آزمون آگاهی واج‌شناختی اجرا شد. همچنین در فرایند اجرا ۱ نفر از گروه آزمایش و ۲ نفر از گروه کنترل ریزش کردند.

شیوه‌نامه درمان

در گروه آزمایش (تحریک فعال) به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی جریان مستقیم دوجانبه (آندی و کاتدی) با شدت ۱ میلی‌آمپر در ۱۲ جلسه (هر هفته ۶ جلسه) به وسیله ادمین (کارشناس ارشد علوم اعصاب‌شناختی) انجام گرفت. براساس پیشینه پژوهش کرتکس گیجگاهی-آهیانه‌ای (الکتروآند بین TP7 و TP8؛ الکتروآند کاتد بین TP8 و P8) به عنوان ناحیه تحریک انتخاب شدند. اندازه الکترودها ۲۵ سانتی‌متر مربع (۵ × ۵) بود و با هدبند روی جمجمه محکم بسته می‌شدند. همچنین برای انتقال بهتر جریان، الکترودها به سدیم کلراید (۰.۹٪ NaCl) آغشته شدند. براساس فراتحلیل‌های تورکر و هارتویگسن (۲۰۲۱) و کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸)، این ناحیه مغزی در بیشتر پژوهش‌ها به عنوان ناحیه هدف انتخاب شده است و شدت ۱ میلی‌آمپر برای کودکان ۷ سال ایمن برآورد شده است. تحریک برای گروه کنترل (تحریک ساختگی) در ناحیه‌های مشابه با همان دوز صورت گرفت با این تفاوت که برای گروه کنترل دو فاز تحریک ساختگی وجود داشت: در فاز اول، شرکت‌کنندگان در ۳۰ ثانیه ابتدایی تحریک را به صورت صعودی تجربه می‌کردند (از صفر تا ۱ میلی‌آمپر) و در فاز دوم، به مدت ۳۰ ثانیه تحریک را به صورت نزولی تجربه می‌کردند (از ۱ میلی‌آمپر تا صفر) و سپس تحریک قطع می‌شد و ادامه جلسه بدون تحریک تداوم پیدا می‌کرد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی و تحلیل کواریانس چندمتغیره (مانکوا) استفاده شد.

یافته‌ها

در این پژوهش از ۴۰ شرکت‌کننده، داده‌های ۳۷ دانش‌آموز (۱۱ دختر و ۲۶ پسر) تجزیه و تحلیل شد. تعداد ۱۳ نفر (۳۷/۸ درصد) کلاس دوم، ۱۱ نفر (۲۹/۷ درصد) کلاس سوم، ۶ نفر (۱۶/۲ درصد)، کلاس پنجم و ۶ نفر (۱۶/۲ درصد) هم کلاس ششم بودند. میانگین سنی برابر با $10/11 \pm 1/10$ و میانگین بهره هوشی شرکت‌کنندگان برابر با $89/91 \pm 5/88$ بود. تحلیل واریانس چندمتغیره نشان داد که در ترکیب خطی میانگین‌های سنی، بهره هوشی و سطح تحصیلات دو گروه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p = 0/729$ ، $F_{3,33} = 0/43$ ، $F_{3,33} = 0/96$ ، لامبدای ویلکز). به علاوه از نظر پراکندگی جنسیت در بین دو گروه آزمایش (تحریک فعال) و کنترل (تحریک ساختگی) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p = 0/44$). X^2 بنابراین، از این متغیرها زمان تحلیل به عنوان متغیر هم‌پراش استفاده نشد. جدول ۱ نیز شاخص‌های توصیفی متغیرهای پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طوری که جدول ۱ نشان می‌دهد نمره‌های افراد در دو گروه در مرحله پیش‌آزمون نزدیک هم هستند و تحلیل واریانس چندمتغیره نیز نشان داد که بین دو گروه در ترکیب خطی پیش‌آزمون‌های آگاهی واجی (شامل ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی)، آگاهی درون-هجایی (شامل تشخیص تجانس و قافیه) و آگاهی هجایی (تقطیع هجایی) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p = 0/639$ ، $F_{2,34} = 0/47$ ، $F_{2,34} = 0/97$ ، لامبدای ویلکز).

جدول ۱ شاخص‌های توصیفی متغیرهای پژوهش

متغیر وابسته	مرحله سنجش	میانگین (انحراف معیار)	کنترل (n=۱۸)	آزمایش (n=۱۹)
ترکیب واجی	پیش‌آزمون		۴/۳۹ ± ۰/۹۷	۴/۲۶ ± ۰/۷۳
	پس‌آزمون		۴/۸۲ ± ۱/۲۲	۵/۵۷ ± ۰/۹۰
	پیگیری		۴/۸۳ ± ۰/۷۸	۵/۳۱ ± ۰/۸۷
تقطیع واجی	پیش‌آزمون		۵/۵۵ ± ۰/۵۱	۴/۵۷ ± ۰/۶۹
	پس‌آزمون		۵/۲۷ ± ۰/۴۶	۶/۲۲ ± ۱/۰۸
	پیگیری		۴/۹۹ ± ۰/۵۱	۵/۲۱ ± ۰/۴۲
تشخیص کلمه‌های با واج آغازین یکسان	پیش‌آزمون		۵/۱۱ ± ۰/۷۵	۵/۰۵ ± ۰/۷۸
	پس‌آزمون		۵ ± ۰/۷۷	۶/۵۲ ± ۰/۹۶
	پیگیری		۴/۷۷ ± ۰/۸۰	۵/۸۴ ± ۱/۳۰
نامیدن و حذف واج آغازین	پیش‌آزمون		۴/۵۰ ± ۰/۵۲	۴/۴۷ ± ۰/۵۱
	پس‌آزمون		۴/۶۶ ± ۰/۶۹	۵/۹۴ ± ۰/۶۲
	پیگیری		۵/۱۱ ± ۰/۶۸	۵/۷۸ ± ۰/۵۳
تشخیص کلمه‌های با واج پایانی یکسان	پیش‌آزمون		۴/۹۴ ± ۰/۶۳	۴/۸۴ ± ۰/۶۸
	پس‌آزمون		۴/۸۸ ± ۱/۰۸	۶/۵۲ ± ۰/۷۷
	پیگیری		۵/۲۷ ± ۱/۰۱	۵/۹۴ ± ۰/۹۷
نامیدن و حذف واج پایانی	پیش‌آزمون		۴/۲۸ ± ۰/۴۶	۴/۴۲ ± ۰/۵۰
	پس‌آزمون		۴/۷۲ ± ۰/۶۶	۵/۴۲ ± ۰/۷۷
	پیگیری		۴/۵۵ ± ۰/۹	۵/۳۱ ± ۰/۷۴
حذف واج میانی	پیش‌آزمون		۳/۷۰ ± ۰/۷۵	۴ ± ۰/۸۱
	پس‌آزمون		۳/۷۷ ± ۱/۱۶	۵/۴۲ ± ۰/۷۶
	پیگیری		۴ ± ۰/۸۴	۴/۶۸ ± ۰/۸۲
آگاهی واجی	پیش‌آزمون		۳۱/۶۱ ± ۲/۴۱	۳۱/۲۹ ± ۱/۸۰
	پس‌آزمون		۳۴/۵۴ ± ۲/۹۳	۴۱/۲۶ ± ۲/۳۰
	پیگیری		۳۲/۷۷ ± ۴/۳۲	۳۷/۶۳ ± ۲/۶۷
تشخیص قافیه	پیش‌آزمون		۴/۵۲ ± ۱/۱۰	۴/۳۸ ± ۱/۰۲
	پس‌آزمون		۴/۶۱ ± ۱/۰۶	۴/۴۵ ± ۱/۰۱
	پیگیری		۴/۷۷ ± ۰/۸۸	۴/۵۷ ± ۰/۸۳
تشخیص تجانس	پیش‌آزمون		۴/۸۳ ± ۱/۱۵	۴/۵۲ ± ۰/۹۶
	پس‌آزمون		۵/۱۶ ± ۰/۷۸	۵/۳۱ ± ۰/۹۴
	پیگیری		۴/۹۴ ± ۰/۹۹	۵/۳۲ ± ۱/۰۸
آگاهی درون‌هجایی	پیش‌آزمون		۹/۳۳ ± ۱/۲۳	۹/۰۵ ± ۱/۳۹
	پس‌آزمون		۹/۷۷ ± ۱/۱۱	۹/۶۳ ± ۱/۴۴
	پیگیری		۹/۷۲ ± ۱/۰۷	۹/۸۹ ± ۱/۵۲
تقطیع هجایی (آگاهی هجایی)	پیش‌آزمون		۴/۱۱ ± ۰/۷۵	۳/۸۹ ± ۰/۷۳
	پس‌آزمون		۴/۴۴ ± ۰/۷۰	۴/۴۲ ± ۰/۷۷
	پیگیری		۴/۷۲ ± ۰/۸۲	۴/۵۷ ± ۱/۰۶

بعد از بررسی شاخص‌های توصیفی، مفروضه‌های تحلیل کواریانس چندمتغیره بررسی شدند. در این راستا، آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که هیچ‌کدام از متغیرهای وابسته توزیع نرمال ندارند

($p < 0.05$). با توجه به تخطی از مفروضه توزیع نرمال از تبدیل باکس-کاس^{۷۰} برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. همچنین رابطه خطی متغیرهای وابسته از راه نمودارهای پراکندگی تأیید شد و همبستگی

بعد از بررسی شاخص‌های توصیفی، مفروضه‌های تحلیل کواریانس چندمتغیره بررسی شدند. در این راستا، آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که هیچ‌کدام از متغیرهای وابسته توزیع نرمال ندارند

در نهایت، بررسی مفروضه شیب رگرسیون نشان داد که تعامل معنی‌داری بین آگاهی واجی ($p = 0/550$)، آگاهی درون‌هجایی ($F = 0/36$ ، $p = 0/602$) و آگاهی هجایی ($F = 0/1$ ، $p = 0/990$) و عضویت گروهی وجود ندارد. همان‌طوری که جدول ۲ نشان می‌دهد، بعد از کنترل پیش‌آزمون، بین دو گروه در ترکیب خطی متغیرهای وابسته (نمره‌های آگاهی واجی، آگاهی درون‌هجایی و آگاهی هجایی در مراحل پس‌آزمون و پیگیری) تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($F_{(7, 26)} = 16/22$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 = 0/77$)، ۷۷ درصد از این تفاوت ناشی از عضویت گروهی است.

بین همپراش‌ها (پیش‌آزمون‌ها) در دامنه ۰/۳۷ تا ۰/۶۹ قرار داشت. مفروضه همگنی واریانس‌ها در مرحله پس‌آزمون و پیگیری برای متغیرهای آگاهی واجی ($p = 0/990$)، آگاهی درون‌هجایی ($F = 0/1$ ، $p = 0/990$) و آگاهی هجایی ($F = 0/36$ ، $p = 0/602$) بررسی شد که فقط واریانس آگاهی واجی در مرحله پیگیری نابرابر بود و برای جبران آن از سطح آلفای سخت‌گیرانه ($p < 0/01$) استفاده شد. مفروضه برابری ماتریس‌ها واریانس-کواریانس نیز تأیید شد ($M Box = 0/001$ ، $F = 0/001$ ، $p = 0/990$).

جدول ۲ نتایج آزمون‌های چندمتغیری با کنترل پیش‌آزمون‌ها ($n = 37$)

اثر	آزمون‌ها	ارزش	F	Df فرضیه	Df خطا	معنی‌داری	مجذور اتا
عضویت گروهی	T پیلایی	۰/۷۸	۱۶/۲۲	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	لامبدای ویلکز	۰/۲۲	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	T هاتلینگ	۳/۶۱	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	بزرگ‌ترین ریشه روی	۳/۶۱	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷

با توجه به اینکه F چندمتغیری معنی‌دار بود، برای بررسی اینکه بین دو گروه در کدام متغیرها و در کدام مرحله تفاوت وجود دارد، آزمون F تک‌متغیری (آثار بین‌گروهی) استفاده شد. همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین دو گروه فقط در آگاهی واجی در هر دو مرحله پس‌آزمون ($F_{(1, 32)} = 27/86$ ، $\eta^2 = 0/46$)، $p = 0/001$ و مرحله پیگیری ($F_{(1, 32)} = 27/86$ ، $\eta^2 = 0/77$)، $p = 0/001$ تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد ($p > 0/05$).

با توجه به اینکه F چندمتغیری معنی‌دار بود، برای بررسی اینکه بین دو گروه در کدام متغیرها و در کدام مرحله تفاوت وجود دارد، آزمون F تک‌متغیری (آثار بین‌گروهی) استفاده شد. همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین دو گروه فقط در آگاهی واجی در هر دو مرحله پس‌آزمون ($F_{(1, 32)} = 27/86$ ، $\eta^2 = 0/46$)، $p = 0/001$ و مرحله پیگیری ($F_{(1, 32)} = 27/86$ ، $\eta^2 = 0/77$)، $p = 0/001$ تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد ($p > 0/05$).

جدول ۳ نتایج آزمون آثار بین‌گروهی ($n = 37$)

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجزورات درجه سوم	df	میانگین مجزورات	F	معنی‌داری	مجذور اتا
آگاهی واجی - پس‌آزمون	پیش‌آزمون	۱۰۰/۹۴	۱	۱۰۰/۹۴	۲۳/۴۶	۰/۰۰۱	۰/۴۲
	عضویت گروهی	۱۱۹/۸۷	۱	۱۱۹/۸۷	۲۷/۸۶	۰/۰۰۱	۰/۴۶
	خطا	۱۳۷/۶۸	۳۲	۴/۳۰			
آگاهی واجی - پیگیری	پیش‌آزمون	۷۷۱/۱۲	۱	۷۷۱/۱۲	۱۰۸/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	عضویت گروهی	۲۲۷/۴۲	۱	۲۲۷/۴۲	۱۳/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۳۰
	خطا	۱۷/۴۳	۳۲	۷/۱۱	۰/۰۲	۰/۸۸۰	۰/۰۰۱
آگاهی درون‌هجایی - پس‌آزمون	پیش‌آزمون	۱۷/۴۳	۱	۱۷/۴۳	۱۳/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۳۰
	عضویت گروهی	۰/۰۳	۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۸۸۰	۰/۰۰۱
	خطا	۳۹/۸۸	۳۲	۱/۲۵			
آگاهی درون‌هجایی - پیگیری	پیش‌آزمون	۱۷/۴۳	۱	۱۷/۴۳	۱۳/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۳۰
	عضویت گروهی	۰/۰۳	۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۸۸۰	۰/۰۰۱
	خطا	۳۹/۸۸	۳۲	۱/۲۵			

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجزورات درجه سوم	df	میانگین مجزورات	F	معنی‌داری	مجزورات
آگاهی هجایی-پس‌آزمون	خطا	۳۳/۲۳	۳۲	۱/۰۴			
	پیش‌آزمون	۸/۴۹	۱	۸/۴۹	۲۷/۷۰	۰/۰۰۱	۰/۴۶
	عضویت گروهی	۰/۱۶	۱	۰/۱۶	۰/۵۱	۰/۴۸۰	۰/۰۲
آگاهی هجایی-پیگیری	خطا	۹/۸۰	۳۲	۰/۳۲			
	عضویت گروهی	۰/۰۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۰۳	۰/۰
	خطا	۲۱/۹۹	۳۲	۰/۶۷			

معنی‌داری چندمتغیری به جای لامبدای ویلکز از اثر پیلایی استفاده شد.

F چندمتغیری نشان داد که بین دو گروه در ترکیب خطی متغیرهای هفت‌گانه آگاهی واجی در مرحله پیگیری تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($\eta^2 = ۰/۷۱$)، $p = ۰/۰۳۵$ ، $F(۱۴, ۱۵) = ۲/۶۶$ ، اثر پیلایی) و ۷۱ درصد از این تفاوت ناشی از عضویت گروهی است. جدول ۴ نیز آزمون F تک‌متغیری برای بررسی تفاوت معنی‌دار در متغیرهای هفت‌گانه را نشان می‌دهد. همان‌طوری که جدول ۴ نشان می‌دهد، تفاوت بین گروه‌ها در بیشتر متغیرهای آگاهی واجی معنی‌دار است ($p < ۰/۰۵$) و فقط برای متغیر ترکیب واجی در مرحله پیگیری بین دو گروه تفاوت معنی‌دار نیست ($p > ۰/۰۵$). همچنین ۱۱ تا ۵۲ درصد از واریانس متغیرهای وابسته در مرحله پس‌آزمون و پیگیری به‌وسیله عضویت گروهی تبیین می‌شود.

با توجه به اینکه آگاهی واجی ۷ متغیر مجزا (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) دارد، برای بررسی اینکه تفاوت بین گروهی در کدام‌یک از این ۷ متغیر معنی‌دار است، یک تحلیل کواریانس چندمتغیری جدا نیز انجام شد. در این راستا، مفروضه‌های همگنی واریانس‌ها، شیب رگرسیون و خطی بودن متغیرهای وابسته رعایت شده بود البته برای متغیر حذف واج میانی در مرحله پیگیری برابری واریانس‌ها رعایت نشده بود ($p < ۰/۰۵$) که از آلفای سخت‌گیرانه‌تر استفاده شد. همچنین مفروضه توزیع نرمال برای متغیرهای تشخیص کلمه‌ها با آغازین و پایانی یکسان و حذف واج میانی رعایت نشده بود. به‌همین‌منظور، برای این متغیرها از تبدیل باکس-کاس استفاده شد. در نهایت، مفروضه برابری ماتریس‌های واریانس-کواریانس نیز تأیید نشد ($p = ۰/۰۰۰۱$)، $F(۱۰۵, ۳۷۹۱/۴۱) = ۱/۷۶$ ، $M\ Box = ۳۳۰/۶۳$). به‌همین‌منظور، در بررسی

جدول ۴ نتایج آزمون آثار بین‌گروهی برای متغیرهای آگاهی واجی ($n = ۳۷$)

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجزورات درجه سوم	df	میانگین مجزورات	F	معنی‌داری	مجزورات
ترکیب واجی-پس‌آزمون	پیش‌آزمون	۱۱/۴۵	۱	۱۱/۴۵	۲۵/۸۹	۰/۰۰۱	۰/۴۸
	عضویت گروهی	۳/۱۸	۱	۰/۱۸	۷/۱۹	۰/۱۲	۰/۲۰
	خطا	۱۲/۳۸	۲۸	۰/۴۴			
ترکیب واجی-پیگیری	عضویت گروهی	۳/۲۳	۱	۳/۲۳	۳/۶۳	۰/۰۶۷	۰/۱۱
	خطا	۲۴/۹۰	۲۸	۰/۸۹			
	پیش‌آزمون	۱/۵۵	۱	۱/۵۵	۸/۹۷	۰/۰۰۶	۰/۲۴
تقطیع واجی-پس‌آزمون	عضویت گروهی	۱۲/۵۳	۱	۱۲/۵۳	۲۵/۵۸	۰/۰۰۱	۰/۴۷
	خطا	۱۳/۷۲	۲۸	۰/۴۹			

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجزورات درجه سوم	df	میانگین مجزورات	F	معنی داری	مجزور اتا
تقطع واجی- پیگیری	عضویت گروهی	۰/۷۹	۱	۰/۷۹	۴/۵۷	۰/۰۴۱	۰/۱۴
	خطا	۴/۸۵	۲۸	۰/۱۷			
	پیش آزمون	۱/۹۸	۱	۱/۹۸	۱/۰۹	۰/۱۵۱	۰/۰۷
تشخیص واج آغازین- پس- آزمون	عضویت گروهی	۲۵/۴۰	۱	۲۵/۴۰	۳۰/۵۳	۰/۰۰۱	۰/۵۲
	خطا	۲۲/۴۴	۲۸	۰/۸۰			
تشخیص واج آغازین- پیگیری	عضویت گروهی	۴/۳۶	۱	۴/۳۶	۴/۶۱	۰/۰۴۱	۰/۱۴
	خطا	۲۶/۴۹	۲۸	۰/۹۴			
	پیش آزمون	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۰/۹۳	۰/۳۴۳	۰/۰۳
تشخیص واج پایانی- پس- آزمون	عضویت گروهی	۲۰/۷۸	۱	۲۰/۷۸	۲۵/۹۲	۰/۰۰۱	۰/۴۸
	خطا	۱۷/۹۲	۲۸	۰/۶۴			
تشخیص واج پایانی- پیگیری	عضویت گروهی	۲/۸۸	۱	۲/۸۸	۴/۵۱	۰/۰۴۳	۰/۱۴
	خطا	۱۷/۹۲	۲۸	۰/۶۴			
	پیش آزمون	۰/۴۵	۱	۰/۴۵	۱/۵۸	۰/۲۱۹	۰/۰۵
نامیدن و حذف واج آغازین- پس آزمون	عضویت گروهی	۱۳/۶۱	۱	۱۳/۶۱	۲۷/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۴۹
	خطا	۸/۰	۲۸	۰/۲۹			
نامیدن و حذف واج آغازین- پیگیری	عضویت گروهی	۱/۶۳	۱	۱/۶۳	۵/۷۰	۰/۰۲۴	۰/۱۷
	خطا	۷/۹۹	۲۸	۰/۲۸			
	پیش آزمون	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۹۲۲	۰
نامیدن و حذف واج پایانی- پس آزمون	عضویت گروهی	۴/۵۵	۱	۴/۵۵	۶/۳۸	۰/۰۱۷	۰/۱۸
	خطا	۱۱/۵۷	۲۸	۰/۴۱			
نامیدن و حذف واج پایانی- پیگیری	عضویت گروهی	۱/۹۱	۱	۱/۹۱	۴/۶۱	۰/۰۴۰	۰/۱۴
	خطا	۱۱/۵۷	۲۸	۰/۴۱			
	پیش آزمون	۵/۹۳	۱	۵/۹۳	۱۲/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۳۰
حذف واج میانی- پس آزمون	عضویت گروهی	۱۱/۹۷	۱	۱۱/۹۷	۱۷/۸۷	۰/۰۰۱	۰/۳۸
	خطا	۱۷/۷۸	۲۸	۰/۹۷			
حذف واج میانی- پیگیری	عضویت گروهی	۲/۸۳	۱	۲/۸۳	۵/۷۹	۰/۰۳	۰/۱۷
	خطا	۱۳/۶۶	۲۸	۰/۴۹			

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با هدف تعیین اثربخشی tDCS بر آگاهی واج شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی انجام شد. به این منظور، tDCS آنودال بین TP7 و P7 و کاتodal بین TP8 و P8 قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که tDCS دوجانبه منجر به

بهبودی آگاهی واج شناختی (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) می شود. همچنین این بهبودی در آگاهی واجی (بجز برای متغیر ترکیب واجی) در طول زمان (یک ماهه)

پایدار بود. بخشی از نتایج پژوهش حاضر با پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳)، همخوان است. آنها نشان دادند tDCS دوجانبه در ناحیه گیجگاهی-آهیانه‌ای به همراه آموزش آگاهی واج‌شناختی منجر به بهبود حذف واج می‌شود. به علاوه، یافته حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۲۰۱۹)، (۲۰۲۲) نیز هماهنگ است. آنها گزارش کردند که tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- فوقانی^{۷۱} منجر به بهبودی پردازش شنیداری از قبیل افزایش دقت وضوح زمانی (کاهش زمان واکنش در تمییز واج‌ها)، درک صدای گفتار و حافظه شنیداری- کلامی کوتاه‌مدت می‌شود. در نهایت، نتایج این پژوهش با پژوهش لازارو و همکاران (۲۰۲۱) و کوستانزو و همکاران (۲۰۱۶) که نشان دادند tDCS منجر به بهبودی مولفه واج‌شناختی (شنیداری) حافظه کاری و افزایش دقت- تعداد ترکیب‌های واجی می‌شود، هم‌راستا است. البته، ناهمخوان با این پژوهش، لازارو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که tDCS در بهبود آگاهی واجی (ترکیب واجی) اثر معنی‌داری ندارد. این ناهم‌آهنگی (با وجود تحریک ناحیه مشابه مغزی) می‌تواند ناشی ترکیب نمونه باشد. در پژوهش آنها بیشتر شرکت‌کنندگان دختر (۸ نفر از ۱۰ نفر) و نوجوان بودند (با میانگین سنی ۱۴) ولی در پژوهش حاضر بیشتر شرکت‌کنندگان پسر بود و میانگین سنی آنها تقریباً ۱۰ بود. به علاوه، میانگین بهره‌هوشی آزمودنی‌ها در پژوهش آنها ۱۰۳ بود ولی در پژوهش حاضر ۸۹ بود.

در یک تبیین احتمالی برای اثربخشی tDCS برای آگاهی واجی می‌توان گفت که قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای شامل مناطقی از قبیل شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی^{۷۲} (نواحی شنوایی اولیه و ثانویه)، شکنج فوق‌حاشیه‌ای^{۷۳} (SMG) و شکنج زاویه‌ای^{۷۴} (AG) است که در تجزیه و تحلیل واج- شناختی کلمه‌ها، تبدیل واج- نویسه و حتی پردازش معنای کلمه (به‌ویژه شکنج زاویه‌ای) مؤثر هستند (کوزوسکی و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، با

تقویت و بهبود عملکرد این ناحیه (از راه تحریک آنودال)، پردازش حسی- شنیداری و رمزگردانی نویسه (حروف) به صدا (واج) آسان می‌شود که در نهایت آگاهی واجی افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، ناحیه گیجگاهی- آهیانه‌ای (به‌ویژه شکنج فوق‌حاشیه‌ای) به پردازش واج‌شناختی در سطوح مختلف مانند پردازش حسی صدا، ارتباط واج- نویسه و حافظه کاری واج‌شناختی کمک می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). از سوی دیگر می‌توان گفت که اطلاعات واج‌شناختی در قشر گیجگاهی (به‌ویژه در شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی) رمزگردانی می‌شوند و سپس در دسترس نواحی مغزی بالاتر (مانند مناطق پیشانی) برای پردازش‌های سطح بالاتر قرار می‌گیرند. این فرایند ارتباط عملکردی^{۷۵} شبکه عصبی، در کودکان دچار نارساخوانی با اختلال مواجه است که tDCS با اصلاح ارتباط عملکردی بین نواحی مغزی، زمینه را برای پردازش بهتر آسان می‌کند. به‌صورت کلی، tDCS با تقویت اتصال‌های عصبی در سیستم اعصاب مرکزی به بهبودی و تقویت آگاهی واج‌شناختی کمک می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). در تبیین دیگر می‌توان گفت tDCS با بهبود حافظه کاری شنیداری به بهبود آگاهی واج‌شناختی منجر می‌شود. در این‌راستا، می‌توان به نظریه بدلی و هیتچ^{۷۶} (۲۰۱۹) اشاره کرد که حافظه کاری را متشکل از سه مولفه واج‌شناختی (شنیداری) دیداری- فضایی و مجری مرکزی (توجه) می‌دانند. مولفه واج‌شناختی اطلاعات واجی و صداهای گفتاری- زبانی را ذخیره می‌کند. درواقع این مدار اطلاعات کلامی و شنیداری را به‌صورت کوتاه‌مدت ذخیره و مرور می‌کند. هرچه قدر این مدار منظم‌تر و قوی‌تر عمل کند، بازتولید واجی و اطلاعات شنیداری با آسانی بیشتر انجام خواهد شد. از آنجایی که کودکان نارساخوان در حافظه کاری و پردازش شنیداری (مولفه واج‌شناختی حافظه کاری) نقص اساسی دارند، tDCS می‌تواند با بهبود فرایند مولفه شنیداری حافظه

کاری در بهبود آگاهی واجی مؤثر باشد (فوستیک^{۷۷} و همکاران، ۲۰۱۸). به عنوان آخرین تبیین برای اثربخشی tDCS دوجانبه بر بهبود آگاهی واجی، می توان گفت که tDCS از راه بهبود نوسان های عصبی در افزایش آگاهی واج شناختی مشارکت دارد. براساس فرضیه «نقص نوسان عصبی»، افزایش فعالیت نورون های گلوتاماترژیک نوسان عصبی را افزایش می دهند که در آن تعادل طبیعی بین تحریک و مهار عصبی کاهش پیدا می کند. در این پژوهش tDCS دوجانبه با ترکیبی از تحریک تسهیلی آنودال (تسهیل گر گلوتامات) و تحریک مهاری کاتدی (مهار گلوتامات)، متعادل سازی نوسان های عصبی در قشر گیجگاهی- آهیانه را امکان پذیر می سازد. درواقع، افراد نارساخوان در سطح درون زا (شلیک خودبه خودی نورون ها)، تحریک پذیری بیش از حد را نشان می دهند که بر نمونه گیری (مثل توجه انتخابی بر واج ها) و رمزگشایی گفتار تأثیر منفی دارد و مانع نمونه برداری سریع از محرک های حسی (مثل صدا) می شود. از سوی دیگر، واج ها زمان تکلم با تغییرات به نسبت سریع متمایز می شوند و برای تمییز آنها نرخ نوسان های عصبی باید متناسب (تحریکی- مهاری) باشد درحالی که در افراد نارساخوان، نرخ نوسان ها به طور غیرعادی سریع است و منجر به اختلال در پردازش واج شناختی می شود. به عبارت ساده تر نرخ نوسان های عصبی آنها مشابه موقعیت هایی است که فرد در یک محیط پر سروصدا قرار دارد و نمونه برداری صداها و متعاقب آن نرخ نوسان عصبی زیاد است. به صورت کلی، tDCS دوجانبه (تحریک- مهاری) نرخ نوسان های عصبی را از راه تنظیم فعالیت نورون های گلوتاماترژیک و به دنبال آن تنظیم امواج گاما متعادل می کند (هاناکاک و همکاران، ۲۰۱۷).

همچنین این پژوهش نشان داد که tDCS دوجانبه اثربخشی معنی داری بر بهبودی آگاهی هجایی (تقطیع هجای) ندارد. این یافته با پژوهش رودریگودی آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) که اثربخشی tDCS و همبسته های

عصبی- زیستی (از راه MRI) را بررسی کردند، ناهماهنگ است. آنها نشان دادند tDCS آنودال منجر به بهبودی آگاهی واج شناختی (رمزگشایی واجی و تقطیع واجی) می شود. در تبیین این ناهماهنگی می توان گفت که آنها ناحیه پیشانی چپ (ناحیه F5؛ شکنج پیشانی تحتانی چپ^{۷۸}) را هدف تحریک آنودال قرار دادند ولی در پژوهش حاضر ناحیه گیجگاهی- آهیانه ای چپ هدف تحریک آنودال بود. از سوی دیگر، در پژوهش رودریگودی آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) حجم نمونه بسیار کم (۶ نفر) بود که می تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. به علاوه، در تبیین احتمالی دیگر می توان گفت که نواحی گیجگاهی- آهیانه ای چپ (به خصوص شکنج فوق حاشیه ای) در ادراک صدا (واج) نقش بیشتری دارد ولی برای تولید صدا نیاز به فعالیت بیشتر شکنج تحتانی پیشانی چپ است. همچنین، اگر تکلیف هدف تولید تک صدا (یک واج) باشد، به علت آسانی تکلیف، قشر گیجگاهی- آهیانه ای فعالیت بیشتری برای تولید آن خواهد داشت. ولی هرچه تکلیف سخت تر باشد، مثل تقطیع هجایی که به ادراک و تولید چندین صدا نیاز دارد، لزوم فعالیت بیشتر و هم زمان هر دو نیمکره و نواحی بیشتر مغزی از قبیل شکنج تحتانی پیشانی بیشتر می شود (رودریگودی آلمیدا و هانسن، ۲۰۱۹). درنهایت می توان گفت که تقطیع هجایی تکلیفی فقط واج- شناختی نیست بلکه توانایی ترکیب صامت- مصوت را هم شامل می شود که سومین مرحله خواندن محسوب می شود و در مقایسه با آگاهی واج شناختی که اولین مرحله است، به توانایی های بیشتری نیاز دارد و شاید tDCS گیجگاهی- آهیانه ای به تنهایی در بهبود آن مؤثر نیست. همچنین، ناهمخوان با این پژوهش روفنر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تحریک الکتریکی منجر به بهبودی آگاهی هجایی (طبقه بندی واج ها: تقطیع وار خواندن کلمه/ جمله و حروف صدادار/ هجاها) می شود. شاید مهم ترین تفاوت پژوهش حاضر با پژوهش روفنر و همکاران این باشد که آنها از دو

روش تحریکی الکتریکی متفاوت (تحریک تصادفی و متناوب) استفاده کردند و امواج مغزی گاما را هدف قرار دادند. همچنین، شرکت‌کنندگان پژوهش آنها نیز نوجوان و بزرگسالان آموزش‌ندیده بودند.

به‌عنوان آخرین یافته، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که tDCS در بهبود آگاهی درون‌هجایی (تشخیص تجانس و قافیه) اثربخشی معنی‌داری ندارد درحالی‌که در پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳) tDCS گيجگاهی- آهيانه‌ای در اثربخشی معنی‌داری بر آگاهی درون‌هجایی داشت. شاید مهم‌ترین علت ناهمخوانی این نتایج ناشی کاربست ترکیب آموزش آگاهی واج‌شناختی و tDCS در پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳) باشد. از سوی دیگر، این یافته با پژوهش یانگر و همکاران (۲۰۱۶) نیز ناهمسو است. در پژوهش آنها tDCS منجر به بهبودی در تشخیص قافیه شد، با این تفاوت در پژوهش آنها از شیوه‌نامه متفاوتی استفاده شده است که مشابه شیوه‌نامه این پژوهش نیست. در پژوهش یانگر و همکاران (۲۰۱۶) تحریک آنودال نیمکره راست (آهیانه‌ای راست) در مقایسه با تحریک آنودال آهیانه‌ای چپ (P3) به‌طور معنی‌داری تشخیص قافیه را بیشتر بهبود بخشید. آنها استدلال کردند که تحریک آنودال آهیانه‌ای راست برای تشخیص آهنگ، لحن و تجانس صدا کارایی بهتری دارد درحالی‌که در پژوهش حاضر تحریک نیمکره راست از نوع کاتودال بود. برعکس پژوهش حاضر، در پژوهش رودریگودی‌آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) tDCS آنودال با بهبودی تشخیص قافیه همراه بود. در تبیین این ناهم‌سویی می‌توان گفت که آنها ناحیه شکنج پیشانی تحتانی چپ را تحریک کردند. در پژوهشی مشابه، مائر و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که تکالیف تشخیص قافیه در ناحیه شکنج پیشانی پشتی- تحتانی^{۷۹} انجام می‌شود. در این‌راستا، وانگ^{۸۰} و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که قشر گيجگاهی- آهيانه‌ای چپ (به‌خصوص شکنج فوق حاشیه‌ای) در پردازش آغاز کلمه نسبت به پایان کلمه مثل تشخیص قافیه، حساسیت بیشتری

دارد. بنابراین، شاید برای آگاهی درون‌هجایی نواحی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش تحریک نشدند. به‌صورت کلی می‌توان گفت، افزایش تحریک‌پذیری عصبی گيجگاهی- آهيانه‌ای چپ (تحریک آنودال) و کاهش تحریک‌پذیری عصبی گيجگاهی- آهيانه‌ای راست (تحریک کاتودال) به‌ظاهر اثربخشی بیشتری بر بهبودی آگاهی واجی دارد تا آگاهی هجایی (تقطیع هجایی) و درون‌هجایی (تشخیص قافیه و تجانس). به عبارت دیگر، آگاهی واج‌شناختی از چندین خرده- مهارت تشکیل شده است که شاید نواحی مغزی متفاوتی در مدیریت آنها نقش دارند و برای تعیین اثر- بخشی تحریک نواحی مختلف بر بهبود آگاهی واج- شناختی به پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

این پژوهش محدودیت‌هایی به شرح زیر داشت: نخست، نمونه حاضر در این پژوهش به‌صورت هدف- مند انتخاب شد و محدودیت تعمیم نتایج وجود دارد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده نمونه- گیری تصادفی انتخاب شود. دوم، در این پژوهش فقط یکی از نواحی مغزی که مسئول خواندن است، تحریک شد که در پژوهش‌های آینده می‌توانند سایر نواحی از قبیل نواحی پیشانی (تولید صدا و کلمه) و پس‌سری (پردازش شکل کلمه) را تحریک کنند. بنابراین، نتایج حاصل‌شده فقط به شیوه‌نامه استفاده‌شده در این پژوهش قبل تعمیم است. سوم، در این پژوهش تغییرات عصبی ناشی از tDCS اندازه‌گیری نشد. در این‌راستا، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده تغییرات عصبی (از قبیل امواج مغزی، ارتباط عملکردی و غیره) را از راه پژوهش‌های تصویربرداری بررسی کنند. در نهایت به علت وجود نداشتن دوره پیگیری، امکان بررسی پایداری تغییرات فراهم نبود که لزوم بررسی آن در پژوهش‌های آینده را بیشتر می‌کند.

57. Abbreviated Battery IQ
58. Twomey
59. Phonological awareness test
60. Syllabic intersection
61. Homogeneity Detection
62. Rhyme recognition
63. Phonetic composition
64. Recognition of words with the same initial phoneme
65. Recognition of words with the same final phoneme
66. Phonetic intersection
67. Naming and deletion of the final phoneme
68. Eliminating the middle vowel
69. Naming and deletion of the initial phoneme
70. Box-Cox
71. Superior Temporal Gyrus
72. Posterior superior temporal gyrus
73. Supramarginal gyrus
74. Angular gyrus
75. Functional connectivity
76. Baddely & Hitch
77. Fostick
78. Left inferior frontal gyrus
79. Dorsal inferior frontal gyrus (dIFG)
80. Wang

منابع

- Ahadi, H. (2021). Analyzing phonological awareness studies in persian-speaking dyslexic children: a systematic review. *Language and Linguistics*, 17(34), 189-218. [In Persian]. DOI: [10.30465/lsi.2022.8440](https://doi.org/10.30465/lsi.2022.8440)
- Almeida, L., & Hansen, P. C. (2019). Neural correlates of the effects of tDCS stimulation over the LIFG for phonological processing in dyslexia. *BioRxiv*. DOI: [10.1101/522847](https://doi.org/10.1101/522847).
- American Psychiatric Association. (2013). Cautionary statement for forensic use of DSM-5. In *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.).
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J. (2000). Development of working memory: should the pascual-leone and the Baddeley and Hitch models be merged?. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(2), 128-37. DOI: [10.1006/jecp.2000.2592](https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2592). PMID: [11017721](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11017721/).
- Bazarafshan Moghadam, A. (1988). Investigating the prevalence of dyslexia and dyslexia in the homes of male and female students in the second and third grades of elementary school in Mashhad [Master's Thesis, University of Tehran]. Faculty of Psychology and Educational Sciences. [In Persian].
- Boehrerger, A., Macher, K., Dukart, J., Villringer, A., & Pleger, B. (2013). Cerebellar transcranial direct current stimulation modulates verbal working memory. *Brain Stimulation*, 6, 649-653. DOI: [10.1016/j.brs.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.10.001)

1. Dyslexia
2. Liping Yang
3. Moura
4. Share
5. Yeung
6. Transcranial stimulation
7. Rufener
8. Lazzaro
9. Temporo-occipital
10. Richlan
11. Temporo-parietal
12. Turker& Hartwigsen
13. Kossowski
14. Pseudowords
15. Known words
16. Unfamiliar words
17. Circuits
18. Inferior frontal cortex
19. Sequencing information
20. Decoding
21. Grapheme-phoneme conversion
22. Orthographic coding
23. Written language
24. Pugh
25. Dębska
26. Neural noise
27. Hancock
28. Transcranial Direct Current Stimulation
29. Anode electrode
30. Cathode electrode
31. Rios
32. Cancer& Antonietti
33. Rahimi
34. Superior Temporal Gyrus
35. Central auditory processing
36. Temporal resolution
37. Mirahadi
38. Turkeltaub
39. Costanzo
40. Mathur
41. Boehrerger
42. Rodrigues de Almeida & Hansen
43. Hansen
44. Younger
45. List of teacher's dyslexia symptoms
46. Reading and Dyslexia Test (NEMA)
47. Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition (SBIS-5)
48. Verbal
49. Non-verbal
50. Fluid reasoning
51. Knowledge
52. Quantitative reasoning
53. Visual spatial processing
54. Working memory
55. Roid
56. Fourney

- motion perception in dyslexia. *Brain Sciences*, 11, 263. DOI: [10.3390/brainsci11020263](https://doi.org/10.3390/brainsci11020263)
- Mathur, A., Schultz, D., & Wang, Y. (2020). Neural bases of phonological and semantic processing in early childhood. *Brain Connectivity*. DOI: [10.1089/brain.2019.0728](https://doi.org/10.1089/brain.2019.0728)
- Mirahadi, S. S., A. Nitsche, M., Pahlavanzadeh, P., Mohamadi, R., Ashayeri, H & Abolghasemi, J. (2023). Reading and phonological awareness improvement accomplished by transcranial direct current stimulation combined with phonological awareness training: A randomized controlled trial. *Applied Neuropsychology: Child*, 12:2, 137-149, DOI: [10.1080/21622965.2022.2051144](https://doi.org/10.1080/21622965.2022.2051144)
- Moradi A, Hosaini M, Kormi Nouri R, Hassani J, Parhoon H. Reliability and Validity of Reading and Dyslexia Test (NEMA). *Advances in Cognitive Sciences 2016*; 18 (1):22-34. [In Persian]. <http://icssjournal.ir/article-1-409-fa.html>
- Moura, O., Moreno, J., Pereira, M., & Simões, M. R. (2014). Developmental dyslexia and phonological processing in european portuguese orthography. *Dyslexia*, 21(1), 60–79. DOI: [10.1002/dys.1489](https://doi.org/10.1002/dys.1489)
- Pakdaman Sawji, A. (2000). Effect of teaching metacognitive strategies on reading comprehension of students with reading comprehension problems [Master's Thesis, University of Tehran]. University of Tehran, Faculty of Psychology and Educational Sciences. [In Persian].
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., & Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders*, 32, 479–492. DOI: [10.1016/s0021-9924\(01\)00060-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(01)00060-0).
- Rahimi, P., Mohammadkhani, GH., Alaghband Rad, G., Mousavi, S.Z., & Khalili, ME. (2022). Modulation of auditory temporal processing, speech in noise perception, auditory-verbal memory, and reading efficiency by anodal tDCS in children with dyslexia. *Neuropsychologia*. DOI: [10.1016/j.neuropsychologia.2022.108427](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108427)
- Rahimi, V., Mohamadkhani, G., Alaghband-Rad, J., Kermani, F. R., Nikfarjad, H., & Marofizade, S. (2019). Modulation of temporal resolution and speech long-latency auditory-evoked potentials by transcranial direct current stimulation in children and adolescents with dyslexia. *Experimental Brain Research*. DOI: [10.1007/s00221-019-05471-9](https://doi.org/10.1007/s00221-019-05471-9)
- Richlan, F., Sturm, D., Schurz, M., Kronbichler, M., Ladurner, G., & Wimmer, H. (2010). A common left occipito-temporal dysfunction in developmental dyslexia and acquired letter-by-
- Cancer, A., & Antonietti, A. (2018). tDCS Modulatory effect on reading processes: A review of studies on typical readers and individuals with dyslexia front. *Behavioral Neuroscience*, 12:162. DOI: [10.3389/fnbeh.2018.00162](https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00162)
- Costanzo, F., Rossi, S., Varuzza, C., Varvara, P., Vicari, S., & Menghini, D. (2019). Long-lasting improvement following tDCS treatment combined with a training for reading in children and adolescents with dyslexia. *Neuropsychologia*. DOI: [10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.016](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.016)
- Costanzo, F., Varuzza, C., Rossi, S., Sdoia, S., Varvara, P., Oliveri, M., Khoch, G., Vicari, S., & Menghini, D. (2016). Reading changes in children and adolescents with dyslexia after transcranial direct current stimulation. *Neuroscience Reports*. 27, 295–300. DOI: [10.1097/WNR.0000000000000536](https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000536)
- Dastjerdi, M., Soleymani, Z. (2007). What is Phonological Awareness?. *Journal of Exceptional Children*, 6(4), 931-954. [Persian]. <http://dori.net/dor/20.1001.1.16826612.1385.6.4.6.5>
- Dębska, A., Chyl, K., Dzięgiel, G., Kacprzak, A., Luniewska, M., Plewko, J., Marchewka, A., Grabowska, A & Jednoróg, K. (2019). Reading and spelling skills are differentially related to phonological processing: behavioral and fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 100683. DOI: [10.1016/j.dcn.2019.100683](https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100683)
- Fourney, A., Ringel Morris, M., Ali, A., & Vonessen, L. (2018). Assessing the readability of web search results for searchers with dyslexia. *Special Interest Group on Information Retrieval*, 18(1): 8-12. DOI: [10.1145/3209978.3210072](https://doi.org/10.1145/3209978.3210072)
- Fostick, L., Revah, H., (2018). Dyslexia as a multi-deficit disorder: Working memory and auditory temporal processing. *Acta Psychologica (Amst)*, 183, 19-28. DOI: [10.1016/j.actpsy.2017.12.010](https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.12.010)
- Jafari, A. (2020). Psychometric properties of the revised version Tehran-Stanford-Binet intelligence scale in diagnosis children with specific learning disability. *Journal of Exceptional Children*, 20 (1), 129-140. [Persian]. <https://sid.ir/paper/96379/fa>
- Kossowski, B., Chyl, K., Kacprzak, A., r Bogorodzki, P., & Jednoróg, K. (2019). Dyslexia and age related effects in the neurometabolites concentration in the visual and temporo-parietal cortex. *Scientific Reports*, 9:5096. DOI: [10.1038/s41598-019-41473](https://doi.org/10.1038/s41598-019-41473)
- Lazzaro, G., Bertoni, S., Menghini, D., Costanzo, F., Franceschini, S., Varuzza, C., Ronconi, L., Battisti, A., Gori, S., Facchetti, A., & Vicari, S. (2021). Beyond reading modulation: temporo-parietal tDCS alters visuo-spatial attention and

- Turker, S., & Hartwigsen, G. (2021). The neurobiology of reading through non-invasive brain stimulation: A review. *Article in Cortex*, 497-521. DOI: [10.1016/j.cortex.2021.05.001](https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.05.001)
- Twomey, C., O'Connell, H., Lillis, M., Tarpey, S.L., & O'Reilly, G. (2018). Utility of an abbreviated version of the stanford-binet intelligence scales (5th ed.) in estimating 'full scale' IQ for young children with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 11(3):503-508. DOI: [10.1002/aur.1911](https://doi.org/10.1002/aur.1911). Epub 2017 Dec 28.
- Wang, J., Yamasaki, B. L., Weiss, Y., Booth, J. R. (2021). Both frontal and temporal cortex exhibit phonological and semantic specialization during spoken language processing in 7- to 8-year-old children. *Human Brain Mapping*, 42(11), 3534-3546. DOI: [10.1002/hbm.25450](https://doi.org/10.1002/hbm.25450).
- Yang, L., Li, C., Li, X., Zhai, M., An, Q., Zhang, Y., Zhao, J., & Weng, X. (2022). Prevalence of developmental dyslexia in primary school children: a systematic review and meta-analysis. *Brain Sciences*, 12, 240. DOI: [10.3390/brainsci12020240](https://doi.org/10.3390/brainsci12020240)
- Yeung, S. S. S., Siegel, L. S., & Chan, C. K. K. (2012). Effects of a phonological awareness program on English reading and spelling among Hong Kong Chinese ESL children. *Reading and Writing*, 26(5), 681-704. DOI: [10.1007/s11145-012-9383-6](https://doi.org/10.1007/s11145-012-9383-6) [10.1007/s11145-012-9383-6](https://doi.org/10.1007/s11145-012-9383-6)
- Younger, J. W., Randazzo Wagner, M., Booth, J. R. (2016). Weighing the cost and benefit of transcranial direct current stimulation on different reading subskills. *Frontiers in Neuroscience*, 7(1), 262. DOI: [10.3389/fnins.2016.00262](https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00262).
- letter reading? *PLoS ONE*, 5(8): e12073. DOI: [10.1371/journal.pone.0012073](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012073)
- Rios, D M., Rios, M C., Bandeira, I D., Campbell, F Q., Carvalho Vaz, D., & Lucena, R. (2018). Impact of transcranial direct current stimulation on reading skills of children and adolescents with dyslexia. *Child Neurology Open*, 5: 1-8. DOI: [10.1177/2329048X18798255](https://doi.org/10.1177/2329048X18798255)
- Roid, G.H., & Pomplun M. (2012). The stanford-binet intelligence scales. 5th edition. In: flanagan DP, harrison PL; editors. Contemporary intellectual assessment: theories, tests, and issues. New York: The Guilford Press. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.08.005>
- Rufener, K., Krauel, K., Meyer, M., Heinze, H.-J., & Zaehle, T. (2019). Transcranial electrical stimulation improves phoneme processing in developmental dyslexia. *Brain Stimulation*. <http://www.journals.elsevier.com/brain-stimulation>
- Sedaghati, L., Foroughi, R., Shafiei, B., & Maraci, M. R. (2010). Prevalence of Dyslexia in the first to fifth grade elementary students in Isfahan, Iran. *Auditory and Vestibular Research*, 19(1), 94-101. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/355797/en>
- Share DL. (2021). Common misconceptions about the phonological deficit theory of dyslexia. *Brain Sciences*, 11(11), 1510. DOI: [10.3390/brainsci11111510](https://doi.org/10.3390/brainsci11111510).
- Turkeltaub, P. E., Benson, J., Hamilton, R. H., Datta, A., Bikson, M., & Coslett, H. B. (2012). Left lateralizing transcranial direct current stimulation improves reading efficiency. *Brain Stimulation*, 5(3), 201-207. DOI: [10.1016/j.brs.2011.04.002](https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.04.002)