Monthly Journal of
Psychological Science
Vol. 21, No. 112, Summer(July) 2022

Research Paper

The effect of neurofeedback on brain wave modulation and improvement of baseline executive functions of 8 to 12 year old children with specific learning disabilities

Mohsen Amiri[1], Jahangir Karami[2], Khodamorad Momeni[2]
1. Ph.D Student in Psychology, Faculty of Social Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Associate Professor and Faculty Member, Department of Psychology, Faculty of Social Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.

Citation: Amiri M, Karami J, Momeni Kh. The effect of neurofeedback on brain wave modulation and improvement of baseline executive functions of 8 to 12 year old children with specific learning disabilities. J of Psychological Science. 2022; 21(112): 709-725.

URL: https://psychologicalscience.ir/article-1-1443-fa.html

10.52547/JPS.21.112.709

ARTICLEINFO

Keywords:
neurofeedback,
Brain Waves,
Executive functions,
Special learning disabilities

Received: 12 Oct 2021
Accepted: 14 Nov 2021
Available: 22 Jun 2022

ABSTRACT

Background: Specific learning disabilities are a set of heterogeneous disorders that are severely manifested in the learning and application of listening, speaking, reading, writing, and math skills and can have neurological roots. One of the therapies used in this field is neurofeedback, but a review of the history of neurofeedback and learning disabilities shows that there are many contradictions about the effects of neurofeedback on brain waves in children with special learning disabilities.
Aims: The aim of this study was to evaluate the effect of neurofeedback on the modulation of brain waves and basic executive functions in children aged 8 to 12 years with special learning disabilities.
Methods: This research was a quasi-experimental study with a pretest-posttest design and a control group. The statistical population of this study included all boys and girls with dyslexia and dysgraphia introduced to centers for learning disabilities in Kermanshah. Sampling Method of this study is convenience sampling. For this purpose 20 students aged 8 to 12 years were selected and randomly divided into two groups of 10 people. The experimental group received neurofeedback intervention for 20 sessions of 40 minutes. In order to record the brain waves, a two-channel neurofeedback device was used and to measure the active memory, change the attention and inhibit the response, Wechsler memory software(Khodadadi, Amani, 2014), Wisconsin(Khodadadi et al, 2014) and Stroop cards(Khodadadi et al, 2014) were used. In order to analyze the data, univariate analysis of covariance and multivariate analysis of variance were used.
Results: the present protocol can suppress the ratio of theta waves to alpha($\eta 2$= 0.821) and improve the executive functions of attention change(classes($\eta 2$= 0.320), in place($\eta 2$= 0.544)), response inhibition(Concordant Time($\eta 2$= 0.434), Inconcordant Time($\eta 2$= 0.536)) and active memory(Auditory memory Span ($\eta 2$= 0.515), Visual memory Span($\eta 2$= 0.536) in children with dyslexia and dyslexia.
Conclusion: Neurofeedback through the conditioning is likely to lead to the formation of new synaptic connections, ultimately modulating brain waves and improving basic executive functions.

*** Corresponding Author:** Jahangir Karami, Associate Professor and Faculty Member, Department of Psychology, Faculty of Social Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.
E-mail: j.karami@razi.ac.ir
Tel: (+98) 8338361372
2476-5740/ © 2021 The Authors. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Specific learning disabilities are a set of heterogeneous disorders that are severely manifested in the learning and application of listening, speaking, reading, writing, and math skill(Orbach, Gross, Manor & Shallow, 2008). in order to identify the causes of these disabilities, their physiological underpinnings have been studied in several studies (Rams et al., 1997; Basra, Fernandez, Harmony, 2006). For example, in children with dyslexia, abnormal brain activity is seen, which is mostly in the range of theta and alpha waves(Basra et al., 2006). Another issue that can occur in the continuation of problems in brain waves is problems in executive actions(Barbosa, Rodriguez, Mello, Benoit, 2019). Executive actions are a set of cognitive processes that are essential for successful selection and monitoring of behaviors that facilitate the achievement of selected goals (Diamond, 2013). One of the most important models of executive actions is the model of Miyak et al(2000) that research has emphasized the validity of his three-dimensional model as the main factors involved in executive actions(Hizinga, Dolan, Wondermolen, 2006).

Short-term verbal memory and working memory is one of the three components of Miyak et al(2000) model. In this regard, research has shown the relationship between poor working memory and short-term verbal memory with specific learning disabilities(Zhao, Yang, Song, B, 2015; Sangani, Jangi, Ramak, Ahmadi, 2019). Skilled readers mainly use phonological information of visual and auditory stimuli to achieve short-term verbal memory of letters(Martinez Perez, Majraz, Punklet, 2012), Thus, these representations, which include semantic and visual information, must be inhibited so that phonological representations are sufficiently activated without the involvement of another process(Engel, 1996; cited by Zhao et al., 2015). Therefore, the second executive function that will be focused on in this study is the inhibition of dominant responses. The third executive function examined in this study is the shift between mental tasks or attention change. Executive-focused attention changes may be regulated primarily by the frontal lobes(Miam et al., 2000). In rehabilitating children with special learning disabilities, evidence suggests that noninvasive brain stimulation can improve reading abilities in children and adolescents with dyslexia(Castanzo et al., 2016).

One of the most effective non-invasive treatments for children with special learning disabilities is neurofeedback(Fernandez et al., 2007). In this method, in order to teach self-regulation of brain function, the electrical activity of the brain is instantly measured and displayed(Allenson, Fireclo, 2004) and people learn to voluntarily change their brain waves(Decker, Sitscorn, & Dennis, 2014). Many studies have examined the effect of neurofeedback on a wide range of issues including visual-spatial focus in children with special learning disabilities(Sadeghi, Nazari, 2015), reduction of symptoms associated with attention deficit / hyperactivity disorder(Delami et al., 2016), Cognitive function of children with attention deficit (Riano – Garzon et al., 2018), attention, executive actions, electrocortical behavior and function(Whiton, Kribam, 2015), visual and verbal memory(e.g., Mirzaei, Mokhtari, 2018) but in many of these studies, there is no control group that can be compared to the experimental group. Also, most of this research is limited to issues such as reading and writing that seem to be secondary to executive actions. Also, most studies have not mentioned changes in brain waves after the intervention(Jacobs, 2005; Raisi et al., 2016; Dana, Rafiei, Gholami, 2019; Nazir et al., 2018; Azizi, Derkund, Sepahvandi, 2018; Shin and Et al., 2016; Jirayucharvinsak, Asrasna, Pan-Gam, Hamrangron, May, 2019) and only a few studies have focused on this issue, which have also reported contradictory results on changes in brain waves after neurofeedback intervention(Sadeghi, Nazari, Alizadeh Zarei, Kamali, 1392; Fernandez et al., 2003, 2007; Breitler Et al., 2010; Nazari, Musa Nejad, Hashemi, Jahan, 2012). In order to respond to the contradictions and also to test a protocol based on a basic model, the purpose of this study was to investigate the effect of a neurofeedback protocol on brain waves and basic executive functions based on a classical model.

Method

The present study was an applied research and the design used in this research was a quasi-experimental design with a control group, using pre-test and post-test. The statistical population of the present study consisted of all 8 to 12 year old students with special learning disabilities in the academic year 1399-1400. 20 girls and boys were selected as the sample using available sampling. In this study, Wechsler active memory tests(Khodadadi, Amani, 2014), Wisconsin cards(Khodadadi, Shahgholian, Amani, 2014), Stroop(Khodadadi, Mashhadi, Amani, 2014) and neurofeedback device were used to collect information. After conducting a diagnostic interview based on DSM-5 and ensuring the existence of special learning disabilities in students, a written consent was obtained from their parents stating their full consent to participate in the study and participants were randomly divided into experimental and control groups. Using neurofeedback, the amount of theta and alpha brain waves was recorded at the CZ point. Brain waves at CZ were recorded once with the eyes open and once with the eyes closed, each for 90 seconds. Finally, the average of the obtained data was obtained in two modes(open eye/closed eye) and then the ratio of theta to alpha was calculated for each person(Fernandez, 2003, 2007, 2016). This was done once before the intervention as a pre-test, and after the intervention as a post-test for both experimental and control groups. In this study, the alpha-to-theta ratio suppression protocol was used, in which the experimental group was exposed to 20 sessions of neurofeedback. Meetings were held twice a week and each session lasted 40 minutes(Fernandez et al., 2016). In order to analyze the data, univariate analysis of covariance and multivariate analysis of variance were used.

Results

In order to perform univariate analysis of covariance, the condition of homogeneity of regression slope must be established. In this regard, the results showed that the interaction of pre-test with grouping variable in post-test stages was not significant in the ratio of theta waves to alpha. This means that the assumption of homogeneity of the regression line slope is established in this component(p= 0.072, F= 3.708).
As can be seen in Table 2, after controlling the pre-test scores of the theta-alpha ratio, there is a significant difference between the post-test of the experimental and control groups.

Table 1. Results of univariate analysis of covariance to investigate the difference between the post-test theta-alpha ratio in the experimental and control groups

Source	SS	df	MS	F	sig	η2
Group	0/476	1	0/476	77/752	0/001	0/821
Pre-test	0/268	1	0/268	43/745	0/001	0/720
Error	0/104	17	0/006	-	-	-
Total	38/190	20	-	-	-	-

Table 2. Results of post hoc test in multivariate analysis of variance to investigate the differences between post-test of active memory components, attention change and response inhibition in experimental and control groups

Variable	sub scale	SS	MS	F	sig	η2
Wisconsin Test	Classes	12/800	12/800	8/471	0/009	0/320
	in place	61/250	61/250	21/491	0/001	0/544
	True	266/450	266/450	11/141	0/004	0/382
Strop test	Concordant True	423/200	423/200	5/502	0/031	0/234
	Concordant Time	322580/00	322580/00	13/805	0/002	0/434
	Inconcordant True	168/200	168/200	8/340	0/010	0/317
	Inconcordant Time	161640/200	161640/200	8/88	0/001	0/536
Wechsler Memory Test	Visual Span	14/450	14/450	20/808	0/001	0/536
	Auditory Span	6/050	6/050	19/105	0/001	0/515

As can be seen in Table 2, there is a significant difference between the scores of all components, between the experimental and control groups, at least at the 5% level. Therefore, the experimental group significantly improved in all components compared to the control group.

Conclusion

The main purpose of this study was to test the effect of the theta-alpha ratio suppression protocol at the Cz point on brain waves and executive functions in children aged 8 to 12 years with special learning disabilities according to a basic model. The results of this study showed that neurofeedback can modulate brain waves by suppressing the ratio of theta waves to alpha at the Cz point and also improve some basic executive functions such as working memory, Shifting attention and response inhibition in children with special learning disabilities. The results of this study in relation to the effects of neurofeedback on executive functions are consistent with the results of research by Sadeghi, Nazari(2015), Riano-Garzon et al. (2018), Whiton, Kribam(2015), Nazir et al. (2018).The results of this study in relation to the effects of neurofeedback on brain waves are consistent with the results of research by Whiton, Kiribam(2015), Moin, Asadi Gandmani, Amiri(1397), Narimani, Abolghasemi, Rajabi, Nazari, Zahed (2012), Fernandez et al. (2016) And Rajabi, Pakizeh, Moradi(2019).

Neurofeedback may create effects at the synaptic level by strengthening neural circuits and directly modulating abnormal brain oscillations (Ghaziri et al., 2013; Rose et al., 2013). In fact, the changes are not limited to the area in which neurofeedback is applied, so brainwave changes are likely to be the result of a complex reorganization of brainwave activity (Fernandez et al., 2007).

The findings of this study on the effects of neurofeedback on brain waves were inconsistent with the findings of Sadeghi et al. (2013), Fernandez et al. (2007), Nazari et al. (2012), Fernandez et al. (2003). One reason for the discrepancy between the present study and that of Fernandez et al. (2007) may be that they first examined the abnormal ratio of theta to alpha for each participant in most parts of the skull. The region with the highest theta-to-alpha ratio was then selected for intervention. Other reasons for the discrepancy between the results of this study and the results of Fernandez et al. (2007) include the small sample size and non-random assignment of subjects in that study. In general, one of the reasons for the discrepancy between the results of the present study and the results of similar studies is the type of design and the Sample size. For example, in the research of Sadeghi et al. (2013), a single-subject design with only 12 neurofeedback sessions was used. Also, Nazari et al. (2012) used only a group of 6 people in their research. One of the limitations of the present study is the lack of use of more advanced devices such as functional magnetic resonance imaging and it is suggested that such a tool be used in future research.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This article is taken from the doctoral dissertation of the first author in the field of psychology at Razi University of Kermanshah. Participants consciously and voluntarily participated in the research. The principle of confidentiality was observed in the research.

Funding: This study was conducted as a PhD thesis and with code 9449, is supported by the Cognitive Science and Technologies Council.

Authors' contribution: The first author was the senior author, the second were the supervisors and the third was the advisors.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest for this study.

Acknowledgments: I would like to appreciate the supervisor, the advisors, the parents and participants in the study.

مقاله پژوهشی

تأثیر نوروفیدبک بر تعدیل امواج مغزی و کنش‌های اجرایی پایه در کودکان ۸ تا ۱۲ سالهٔ دارای ناتوانایی‌های یادگیری خاص

محسن امیری[۱]، جهانگیر کرمی*[۲]، خدامراد مومنی[۲]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی روانشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲. دانشیار و عضو هیئت علمی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

مشخصات مقاله

کلیدواژه‌ها:
نوروفیدبک،
امواج مغزی،
کنش‌های اجرایی،
ناتوانایی‌های یادگیری خاص

دریافت شده: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰
پذیرفته شده: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳
منتشر شده: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

چکیده

زمینه: ناتوانایی‌های یادگیری خاص به مجموعه‌ای از اختلالات ناهمگن گفته می‌شود که به صورت جدی در یادگیری و کاربرد مهارت‌های گوش دادن، تکلم، خواندن، نوشتن و ریاضیات تظاهر می‌کنند و می‌توانند ریشهٔ عصب شناختی داشته باشند. یکی از درمان‌های مورد استفاده در این حوزه، نوروفیدبک است اما مروری بر پیشینهٔ نوروفیدبک و ناتوانایی‌های یادگیری نشان می‌دهد که تناقضات بسیاری در مورد تأثیرات نوروفیدبک بر امواج مغزی کودکان دارای ناتوانایی‌های یادگیری خاص وجود دارد.

هدف: هدف پژوهش حاضر عبارت از سنجش تأثیر نوروفیدبک بر تعدیل امواج مغزی و کنش‌های اجرایی پایه در کودکان ۸ تا ۱۲ سالهٔ دارای ناتوانایی‌های یادگیری خاص بود.

روش: این پژوهش از نوع مطالعات شبه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون و گروه کنترل بود. جامعهٔ آماری این پژوهش شامل تمامی کودکان دختر و پسر دارای نارساخوانی یا نارسانویسی معرفی شده به مراکز اختلالات یادگیری کرمانشاه بود. روش نمونه‌گیری پژوهش از نوع در دسترس بود که به این منظور ۲۰ دانش‌آموز ۸ تا ۱۲ ساله انتخاب و به صورت تصادفی در دو گروه ۱۰ نفره قرار گرفتند. گروه آزمایشی نوروفیدبک را به مدت ۲۰ جلسهٔ ۴۰ دقیقه‌ای دریافت کردند. جهت ثبت امواج مغزی از دستگاه نوروفیدبک دو کاناله و جهت سنجش حافظهٔ فعال، تغییر توجه و بازداری پاسخ از نرم‌افزارهای حافظهٔ وکسلر (خدادادی، امانی، ۱۳۹۳)، کارت‌های ویسکانسین (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳) و استروپ (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳) استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل کواریانس تک متغیری و تحلیل واریانس چند متغیری استفاده شد.

یافته‌ها: پروتکل حاضر می‌تواند موجب سرکوب نسبت امواج تتا بر آلفا ($\eta2=$ ۰/۸۲۱) و بهبود کنش‌های اجرایی تغییر توجه (طبقات ($\eta2=$ ۰/۳۲۰)، درجازدگی ($\eta2=$ ۰/۵۴۴)، بازداری پاسخ (همخوان زمان ($\eta2=$ ۰/۴۳۴)، ناهمخوان زمان ($\eta2=$ ۰/۵۳۶) و حافظهٔ فعال (فراخنای حافظهٔ شنیداری ($\eta2=$ ۰/۵۱۵)، فراخنای حافظهٔ دیداری ($\eta2=$ ۰/۵۳۶) در کودکان دارای نارساخوانی و نارسانویسی شود.

نتیجه‌گیری: نوروفیدبک از طریق شرطی‌سازی احتمالا موجب شکل‌گیری ارتباطات جدید سیناپسی و در نهایت تعدیل امواج مغزی و بهبود کنش‌های اجرایی می‌شود.

* **نویسنده مسئول:** جهانگیر کرمی، دانشیار و عضو هیئت علمی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

رایانامه: j.karami@razi.ac.ir

تلفن: ۰۸۳۳۸۳۶۱۳۷۲

مقدمه

ناتوانایی‌های یادگیری خاص به مجموعه‌ای از اختلالات ناهمگن گفته می شود که به صورت جدی در یادگیری و کاربرد مهارت‌های گوش دادن، تکلم، خواندن، نوشتن و ریاضیات تظاهر می‌کند. این اختلالات ریشه عصب‌شناختی و روندی تحولی دارد که پیش از دبستان شروع شده و تا بزرگسالی ادامه پیدا می‌کند (اورباخ، گراس، مانور و شالو، ۲۰۰۸). در این راستا نارساخوانی با شیوع ۳/۹ تا ۷/۵ درصد شایع‌ترین ناتوانی خاص یادگیری است (فورتس و همکاران، ۲۰۱۶) و به وسیلهٔ نقص در خواندن صحیح کلمه، روان خوانی کلمه و یا درک مطلب مشخص می‌شود (انجمن روان‌پزشکی آمریکا، ۲۰۱۳؛ نقل از ولکمر، گالاشکا، اسچالت-کورن، ۲۰۱۹). همچنین نقص در بیان نوشتاری یکی‌دیگر از مشکلات خاص یادگیری است که شامل ویژگی‌هایی همچون مشکل در هجی کردن صحیح، دستور و نشانه‌گذاری صحیح، وضوح یا سازماندهی بیان نوشتاری است (انجمن روان‌پزشکی آمریکا، ۲۰۱۳). آمارها نشان می‌دهد میزان شیوع ناتوانی در نوشتن ۵/۴ درصد است (فورتس و همکاران، ۲۰۱۶).

در راستای شناسایی عوامل ایجاد کنندهٔ این ناتوانایی‌ها، در تحقیقات متعددی به زیربنای فیزیولوژیکی ناتوانایی‌های یادگیری پرداخته شده است (رامس و همکاران، ۱۹۹۷، بسرا، فرناندز، هارمونی، ۲۰۰۶). تصویربرداری عصبی با استفاده از نشر پوزیترون، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی و الکتروآنسفالوگرافی مغناطیسی تفاوت‌هایی در سازماندهی عملکردی بین افراد عادی و افراد دچار اختلال یادگیری را شناسایی کرده اند (رامسی و همکاران، ۱۹۹۷، بسرا و همکاران، ۲۰۰۶). برای نمونه، در کودکان دچار نارساخوانی، فعالیت مغزی نابهنجار دیده می‌شود که بیشتر در دامنه امواج تتا و آلفا است (بسرا و همکاران، ۲۰۰۶). از دیگر مسائلی که می‌تواند در ادامهٔ اشکالاتی در امواج مغزی پیش بیاید، اشکال در کنش های اجرایی است (باربوسا، رودریگرز، ملو، بنو، ۲۰۱۹؛ روزنبلوم، آلونی، جزمن، ۲۰۱۰).

کنش‌های اجرایی مجموعه‌ای از فرآیندهای شناختی هستند که برای کنترل شناختی رفتار مانند انتخاب و نظارت موفق رفتارهایی که دستیابی به اهداف انتخاب شده را تسهیل می‌کنند، ضروری هستند (دیاموند، ۲۰۱۳). مهمترین این کارکردها به شکل برنامه‌ریزی، سازماندهی، حافظه فعال، بازداری پاسخ، مدیریت زمان، آغازگری تکلیف و مقاومت مبتنی بر هدف معرفی شده‌اند (داوسون، گوایر، ۲۰۰۴). هرگونه مشکل در رشد این کارکردها می‌تواند موجب اختلال نقص توجه، به یادسپاری تکلیف، بیش‌فعالی یا اختلال در برنامه‌ریزی برای شروع و اتمام تکلیف، اختلال حافظه و ناتوانایی یادگیری شود (اندرسون و کاستیلو، ۲۰۰۲). تاکنون تقسیم‌بندی های مختلفی در مورد کنش‌های اجرایی شده است که یکی از مهمترین و رایج‌ترین آن‌ها، مدل میاک و همکاران (۲۰۰۰) است که بیش از سایر مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تحقیقات انجام شده نیز بر اعتبار مدل سه بعدی او به عنوان عوامل اساسی دخیل در کنش‌های اجرایی تأکید نموده اند (هیزینگا، دولان، واندرمولن، ۲۰۰۶).

حافظهٔ کوتاه‌مدت کلامی و حافظهٔ کاری که یکی از سه مولفهٔ مدل میاک و همکاران (۲۰۰۰) است ممکن است در پردازش واجی، درک مطلب و دیگر فرآیندهای مرتبط با خواندن و نوشتن نقش حیاتی داشته باشند، در این رابطه پژوهش‌ها رابطهٔ بین حافظهٔ کاری ضعیف و فراخنای حافظهٔ کوتاه مدت کلامی را با نارساخوانی که باعث ایجاد مشکلاتی در نگهداری و دستکاری اطلاعات می‌شود (گارسیا، مامارلا، تریپودی، کورنولدی، ۲۰۱۴؛ ژائو، یانگ، سونگ، بی، ۲۰۱۵)، و همچنین با مشکلات نوشتن (سنگانی، جنگی، رامک، احمدی، ۲۰۱۹) نشان داده‌اند، بنابراین یکی از کنش‌های اجرایی که در این پژوهش بر آن تمرکز شده است، به روز رسانی و نظارت بر بازنمایی حافظهٔ کاری است. حافظهٔ کاری سیستمی را شامل می‌شود که مسئول نگهداری اطلاعات کلامی و شنیداری است و از بازنمایی واجی بلندمدت زبان حمایت می‌کند (اسچوارب، نایل، اسچاماچر، ۲۰۱۶). خوانندگان ماهر عمدتاً از اطلاعات واجی محرک‌های دیداری و شنیداری برای دستیابی حافظهٔ کوتاه‌مدت کلامی به حروف استفاده می‌کنند (مارتینز پرز، ماجراز، پونکلت، ۲۰۱۲)، بنابراین این بازنمایی‌ها که شامل اطلاعات معنایی و بینایی می‌شوند باید مهار شوند تا بازنمایی‌های واجی بدون دخالت فرآیند دیگری به اندازهٔ کافی فعال شوند (انگل، ۱۹۹۶؛ نقل از ژائو و همکاران، ۲۰۱۵)، ازاین‌رو دومین کارکرد اجرایی که در این پژوهش بر آن تمرکز خواهد شد، بازداری پاسخ‌های غالب است که به توانایی سرکوب و خاموش کردن آگاهانهٔ پاسخ‌های خودکار و غالب به منظور ارائهٔ پاسخ‌های مناسب‌تر و هدفمند اشاره دارد. مهمترین ویژگی بازداری، منع پاسخ‌ها یا کنترل محرک‌های مزاحم است (هایزینگا و همکاران، ۲۰۰۶). نقص در کنترل بازداری، موجب عملکرد

نادرست در تکالیف و افزایش احتمالی پاسخ‌های نادرست می‌گردد (بست، میلر، جونز، ۲۰۰۹). کودکان دارای ناتوانایی یادگیری همچنین دارای تعدادی از مشکلات مرتبط با نقایص توجهی بینایی - فضایی هستند (فاکوتی، لویسا لورسو، پاگانونی، آمیلتا، گاستون، ۲۰۰۳). هرگونه نقص در مکانیزم‌های توجهی که نقش ویژه‌ای در اسکن پیاپی حروف دارند و به وسیلهٔ مسیر بینایی پشتی کنترل می‌شوند منجر به مشکلاتی در پردازش اطلاعات حروف، تغییر آن‌ها به واج و کاهش آگاهی واج‌شناختی می‌شود (ویدیاساگار، ۲۰۱۰). البته مفهوم تغییر توجه یا تغییر تکلیف که در نظریهٔ میاک و همکاران (۲۰۰۰) مطرح شده است با تغییر توجه بصری که شامل حرکات مناسب چشم یا بازداری آن است مترادف نیست چرا که ممکن است مدارهای عصبی متفاوتی، واسطهٔ توجه بصری و جابه‌جایی‌های توجه اجرایی محوری که شامل انجام آگاهانهٔ دستورالعمل‌ها است، باشند. اگرچه به نظر می‌رسد این شبکه‌ها با هم در تعامل باشند به طور خاص تغییر توجه بصری ممکن است در درجه اول توسط لوب‌های آهیانه‌ای و مغز میانی تنظیم شود در حالی که تغییرهای توجه اجرایی محور ممکن است در درجهٔ اول توسط لوب‌های پیشانی تنظیم شود. بنابراین سومین کنش اجرایی مدنظر در پژوهش حاضر، جابجایی بین تکالیف ذهنی یا همان تغییر توجه است.

برای انتخاب این سه کنش اجرایی در این پژوهش چند دلیل عمده وجود داشت، نخست اینکه این سه کنش اجرایی در ادبیات پژوهشی به عنوان کنش‌های اجرایی مهم مطرح شده‌اند (بدلی، ۱۹۹۶؛ اسمیت، جونیدس، ۱۹۹۹؛ لیون، کراسنیگور، ۱۹۹۶؛ نقل از میاک و همکاران، ۲۰۰۰) و پیشینهٔ پژوهشی نیز نشان می‌دهد که این سه کنش اجرایی قویاً با مؤلفه‌های نظریهٔ واج‌شناختی در ارتباط با ناتوانایی‌های یادگیری ارتباط دارند (گارسیا، مامارلا، تریپودی، کورنولدی، ۲۰۱۴؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۵؛ اسچوارب و همکاران، ۲۰۱۶؛ انگل، ۱۹۹۶؛ نقل از ژائو و همکاران، ۲۰۱۵؛ ویدیاساگار، ۲۰۱۰). دوم اینکه این سه کنش اجرایی نسبت به کنش‌های اجرایی دیگر نظیر برنامه‌ریزی و حل مسأله، ساده‌تر هستند و به راحتی می توانند به طور عملیاتی تعریف و اندازه‌گیری شوند. سومین دلیل برای انتخاب این سه کنش اجرایی در این پژوهش این است که آن‌ها در عملکردهای اجرایی پیچیده‌تر نقش دارند (میاک و همکاران،۲۰۰۰). با توجه به اهمیت موضوع، مدیریت ناتوانایی‌های یادگیری خاص نیاز به تغییر در شیوه‌های تدریس و محیط آموزشی فرد و گاهی اوقات استفاده از روش‌های عصب‌شناختی مانند درمان‌های تحریک مغز دارد چرا که شواهد نشان می‌دهد که تحریک غیرتهاجمی مغز می‌تواند موجب توانبخشی کودکان دارای این ناتوانایی‌ها شود (کاستانزو و همکاران، ۲۰۱۶؛ جعفری، ارجمندنیا، رستمی، ۱۴۰۰؛ فیروزی، ابوالمعالی الحسینی، نوکنی، ۱۴۰۰؛ نیکوبخت، شهنی‌ییلاق، کیامنش، ۱۳۹۸).

یکی از درمان‌های غیرتهاجمی مؤثر برای کودکان با ناتوانایی‌های یادگیری خاص، نوروفیدبک است (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۷). نوروفیدبک یکی از برنامه‌های کاربردی رابط مغز و کامپیوتر در پزشکی توانبخشی و رفتاری است که به وسیلهٔ آن فعالیت الکتریکی مغز یک فرد به منظور آموزش خودتنظیمی عملکرد مغز به صورت آنی اندازه‌گیری و نمایش داده می‌شود (آلنسون، فایرکلو، ۲۰۰۴) و در نهایت فرد می‌آموزد تا به طور ارادی امواج مغز خود را با استفاده از بازخوردی که از دستگاه دریافت می‌کند تغییر دهد (دکر، سیتسکورن و دنیس، ۲۰۱۴). پژوهش‌های بسیاری تأثیر نوروفیدبک را بر طیف گسترده‌ای از مسائل از جمله خواندن جزییات در کودکان نارساخوان (کوبین، رایت، دیکر، مورگان، ۲۰۱۵، رئیسی، دادگر، سلیمانی، حاجی فروش، ۲۰۱۶)، تمرکز دیداری - فضایی در کودکان نارساخوان (صادقی، نظری، ۲۰۱۵)، اختلال ریاضی (هاشمیان، هاشمیان، ۲۰۱۵)، کاهش نشانه‌های مرتبط با اختلال کمبود توجه / بیش‌فعالی (دیلامی و همکاران، ۲۰۱۶)، عملکرد شناختی کودکان با کمبود توجه (ریانو - گارزون و همکاران، ۲۰۱۸)، توانایی هجی کودکان نارساخوان (بریتلر، آرنز، پیترز، گیپمنز، ورهوون، ۲۰۱۰)، توجه، کنش‌های اجرایی، رفتار و عملکرد الکتروکورتیکال (وایتون، کریبام، ۲۰۱۵)، حافظهٔ دیداری و کلامی (نظیر، میرزایی، مختاری، ۲۰۱۸) و تقویت دیداری و شنیداری در کودکان با ناتوانی یادگیری (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۶) نشان داده‌اند، اما در بسیاری از این پژوهش‌ها، گروه کنترلی که بتوان گروه آزمایش را با آن مقایسه کرد وجود ندارد. همچنین اکثر این پژوهش‌ها بر مسائلی مانند خواندن و نوشتن که به نظر می‌رسد ثانویه به کنش‌های اجرایی هستند متمرکز و محدود شده‌اند.

از طرفی مرور پیشینهٔ پژوهشی نشان می‌دهد در اکثر پژوهش‌هایی که در مورد اثربخشی نوروفیدبک بر کنش‌های اجرایی صورت گرفته است به تغییرات امواج مغزی، بعد از مداخله اشاره‌ای نشده است (به طور مثال

مطالعهٔ جاکوبز، ۲۰۰۵؛ هاشمیان و هاشمیان، ۲۰۱۵؛ رئیسی و همکاران، ۲۰۱۶؛ دانا، رفیعی، غلامی، ۲۰۱۹؛ نظیر و همکاران، ۲۰۱۸؛ عزیزی، درکوند، سپهوندی، ۲۰۱۸؛ شین و همکاران، ۲۰۱۶؛ جیرایوچاروینساک، اسراسنا، پان-گام، همرانگرون، مایس، ۲۰۱۹) و فقط پژوهش‌های معدودی به این موضوع پرداخته‌اند که آن‌ها نیز نتایج متناقضی در مورد تغییرات امواج مغزی، بعد از مداخلهٔ نوروفیدبک گزارش کرده‌اند. به طور مثال در یکی از این پژوهش‌ها (صادقی، نظری، علیزاده زارعی، کمالی، ۱۳۹۲) تغییری در امواج مغزی مشاهده نشد، اما تغییرات رفتاری از جمله بهبود عملکرد تعادلی در کودکان دچار نارساخوانی مشاهده شد. فرناندز و همکاران (۲۰۰۳) نیز در پژوهشی نشان دادند که مداخلهٔ نوروفیدبک موجب کاهش نسبت تتا / آلفا در کودکان دچار اختلالات یادگیری می شود و بهبود رفتاری فوراً بعد از اتمام درمان در آنان مشاهده شد، اما تغییرات الکتروآنسفالوگرافی فقط تا دو ماه بعد از درمان مشاهده شد. همچنین در مطالعهٔ دیگری (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۷) این نتیجه به دست آمد که تغییرات الکتروآنسفالوگرافی دو ماه بعد از اتمام درمان نسبت به زمان بلافاصلهٔ درمان چشمگیرتر است، هرچند که در این پژوهش نیز بهبود رفتاری بلافاصله بعد از اتمام درمان مشهود بود. در پژوهش بریتلرو همکاران (۲۰۱۰) نیز پس از آموزش نوروفیدبک، بهبود معنادار در توانایی نوشتن آزمودنی‌ها مشاهده شد اما تغییرات معنادار در نقشهٔ امواج مغزی آن‌ها ایجاد نشد. نظری، موسی‌نژاد، هاشمی، جهان (۲۰۱۲) هم در پژوهش خود تغییرات قابل توجهی در باندهای هدف قرار گرفته (دلتا، تتا، بتا) مشاهده نکردند، هرچند توانایی خواندن و نقایص آگاهی واج‌شناختی کودکان نارساخوان در پژوهش آنان بهبود یافت.

با توجه به تناقضات مطرح شده در ادبیات پژوهشی در مورد تغییرات امواج مغزی و همچنین عدم وجود مطالعه‌ای که کنش‌های اجرایی را با توجه به یک مدل پشتوانه در پژوهش وارد کرده باشد، هدف این پژوهش بررسی تغییرات امواج مغزی و کنش‌های اجرایی پایه، پس از مداخلهٔ یک پروتکل نوروفیدبک بر کودکان دارای ناتوانایی یادگیری خاص است.

روش

الف) طرح پژوهش و شرکت‌کنندگان: پژوهش حاضر از نوع پژوهش های کاربردی و طرح مورد استفاده در این پژوهش، طرح شبه‌آزمایشی با گروه کنترل، با استفاده از پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر را تمامی دانش‌آموزان ۸ تا ۱۲ سالهٔ دارای ناتوانایی‌های یادگیری خاص در سال تحصیلی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تشکیل دادند. به منظور اطمینان از وجود ناتوانایی‌های یادگیری خاص، این دانش‌آموزان توسط یک متخصص بالینی کودک ارزیابی شده و پس از تشخیص بر اساس ملاک‌های DSM-5، تعداد ۲۰ نفر دختر و پسر به عنوان نمونه انتخاب شدند. معیارهای ورود شامل عدم سابقهٔ آسیب مغزی، نداشتن معلولیت جسمانی و مشکلات حسی - حرکتی از هر نوع، عدم ابتلا به اختلالات روانی و همچنین اختلالات همبود از جمله اختلال کمبود توجه / بیش‌فعالی بود. اطلاعات فوق از طریق بررسی پروندهٔ این دانش‌آموزان و همچنین ارزیابی آن‌ها و مصاحبه با والد به دست آمد. معیارهای خروج شامل شروع هرگونه برنامهٔ ارتقای کارکردهای شناختی (چه از نوع فعالیت جسمانی و چه از نوع رایانه‌ای و تحریک مغز) به طور همزمان با اجرای متغیر مستقل و همچنین غیبت بیش از دو مرتبه در جلسات اجرای متغیر مستقل بود. در این پژوهش برای گردآوری اطلاعات از نسخهٔ رایانه‌ای آزمون حافظه فعال وکسلر، آزمون کارت‌های ویسکانسین، آزمون استروپ و همچنین دستگاه نوروفیدبک استفاده شد.

ب) ابزار

مصاحبهٔ بالینی: از افرادی که از سمت مدارس به مرکز اختلالات یادگیری شمارهٔ ۳ و ۴ کرمانشاه ارجاع شده بودند، یک مصاحبهٔ بالینی توسط کارشناسان مرکز براساس ملاک‌های پنجمین ویرایش راهنمای آماری تشخیصی اختلالات روانی، به عمل آمد. این افراد از نظر نقایص ادراکی شنیداری و دیداری و اختلالات روانی مورد بررسی قرار گرفتند. از نتایج این مصاحبه برای این که مشخص شود علت مشکلات دانش‌آموزان ناشی از ناتوانی یادگیری خاص است یا ناشی از عوامل ادراکی و روانی، استفاده شده است. همچنین در این مرحله، از داده‌های آزمون هوش وکسلر کودکان که در پروندهٔ دانش‌آموزان موجود بود، به منظور اطمینان از بهرهٔ هوشی طبیعی دانش‌آموزان استفاده شد.

آزمون حافظه فعال وکسلر (خدادادی، امانی، ۱۳۹۳): فراخنای ارقام، خرده مقیاس حافظه فعال چهارمین ویراست مقیاس هوشی وکسلر است. این آزمون قابلیت سنجش حافظهٔ اعداد رو به جلو و معکوس و فراخنای حافظهٔ

کوتاه‌مدت در کودکان و بزرگسالان را دارد و به صورت فردی اجرا می شود. در بخش آزمون فراخنای ارقام دیداری (مستقیم و معکوس)، یکسری اعداد به صورت دیداری به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید اعداد را به صورت ارائه شده به خاطر بیاورد و تکرار کند. در بخش آزمون فراخنای ارقام شنیداری (مستقیم و معکوس)، تعدادی عدد به صورت شنیداری به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی مانند مرحله قبل باید آن‌ها را به خاطر بیاورد و تکرار کند؛ حداکثر نمره برای اجرای رو به جلو ۱۶، اجرای معکوس ۱۶ و در کل ۳۲ است، در پژوهشی که توسط سائد و همکاران (۱۳۸۷) در ایران انجام گرفت میزان همسانی درونی این آزمون با روش آلفای کرنباخ ۰/۸۰ و با روش نیمه کردن ۰/۷۸ به دست آمد. در پژوهش جزایری و پورشهاز (۱۳۸۲) نیز میزان پایایی این آزمون ۹۰ درصد تعیین گردیده است. همسانی درونی برای زیر مؤلفه‌های فراخنای حافظهٔ دیداری و شنیداری در این پژوهش با استفاده از آلفای کرونباخ به ترتیب ۰/۸۲۶ و ۰/۸۰۹ به دست آمد.

نرم‌افزار آزمون استروپ (خدادادی، مشهدی، امانی، ۱۳۹۳): آزمون استروپ از معروف‌ترین آزمون‌هایی است که بازداری پاسخ (میاک و همکاران، ۲۰۰۰) را مورد بررسی قرار می‌دهد. این آزمون را ریدلی استروپ در سال ۱۹۳۵ برای اندازه‌گیری توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی تهیه کرده است. نرم‌افزار فارسی استروپ را مؤسسهٔ سینا (روان تجهیز) از روی آزمون کارتی استروپ طراحی کرده است (زارع، فرزاد، علیپور و ناظر، ۱۳۹۱). در پژوهش قدیری، جزایری، عشایری، قاضی طباطبایی (۱۳۸۵) ضریب پایایی بازآزمایی برای زمان واکنش ۰/۶۰ و برای خطاهای همین مرحله ۰/۵۵ به دست آمد. در مرحلهٔ دوم آزمایش برای زمان واکنش ضریب پایایی ۰/۸۳ و برای تعداد خطاها ۰/۸۷ به دست آمد. در این پژوهش از این ابزار جهت سنجش بازداری پاسخ استفاده شد. همسانی درونی برای زیر مؤلفه‌های فراخنای حافظهٔ دیداری و شنیداری در این پژوهش با استفاده از آلفای کرونباخ به ترتیب ۰/۸۲۶ و ۰/۸۰۹ به دست آمد. همسانی درونی برای زیر مؤلفه‌های صحیح همخوان و زمان همخوان در این پژوهش با استفاده از آلفای کرونباخ به ترتیب ۰/۹۳۴ و ۰/۹۲۴ به دست آمد. همچنین همسانی درونی برای زیر مؤلفه‌های صحیح نا همخوان و زمان ناهمخوان در این پژوهش با استفاده از آلفای کرونباخ به ترتیب ۰/۹۰۴ و ۰/۹۴۱ به دست آمد.

آزمون رایانه‌ای دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (خدادادی، شاهقلیان، امانی، ۱۳۹۳): آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین توسط گرانت و برگ (۱۹۸۴) ایجاد شده است. در این آزمون به آزمودنی دسته‌ای کارت ارائه می‌شود که بر روی آن‌ها یک الی چهار نماد به صورت مثلث، ستاره، بعلاوه و دایره در چهار رنگ قرمز، سبز، زرد و آبی وجود دارد. البته هیچ دو کارتی مشابه نیستند. چهار کارت شامل یک مثلث قرمز، دو ستاره سبز، سه بعلاوهٔ زرد و چهار دایرهٔ آبی به عنوان کارت‌های اصلی به کار می‌روند. وظیفهٔ آزمودنی این است که بر اساس اصلی که بر چهار کارت اصلی حاکم است نسبت به جای‌گذاری سایر کارت‌ها در زیرکارت‌های اصلی اقدام کند. بعد از هر پاسخ، آزمودنی بازخورد دریافت می‌کند. الگوی مورد نظر برای چهار کارت اصلی به ترتیب رنگ، شکل و تعداد است که دوباره تکرار می‌شوند. بعد از اینکه آزمودنی به تعداد کافی پاسخ متوالی داد، الگوی پاسخ مورد نظر تغییر می‌کند که البته آزمودنی از تغییر الگو آگاه نمی‌شود و خود باید آن را کشف کند. ضریب آلفای کرونباخ برای خطاهای درجاماندگی ۷۴ درصد و برای تعداد طبقات تکمیل شده ۷۳ درصد گزارش شده است (شاه قلیان، آزادفلاح، فتحی‌آشتیانی و خدادادی، ۱۳۹۰). در پژوهش حاضر از این آزمون برای ارزیابی مؤلفهٔ تغییرتوجه استفاده شد. در پژوهش حاضر آلفای کرونباخ برای زیر مؤلفهٔ طبقات ۰/۷۵۶ و برای زیر مؤلفهٔ درجازدگی ۰/۸۰۴ بود.

دستگاه نوروفیدبک: در این پژوهش به منظور ثبت امواج مغزی، از دستگاه نوروفیدبک دو کاناله با نرم افزار ای پروب تهیه شده از مؤسسهٔ پرتو دانش آسمان استفاده شد. برای این کار امواج مغزی شرکت‌کنندگان در نقطه‌ی Cz یک بار به عنوان پیش آزمون و بار دیگر پس از اجرای متغیر مستقل، به عنوان پس‌آزمون ثبت گردید.

پروتکل نوروفیدبک: در پژوهش حاضر از پروتکل سرکوب نسبت آلفا بر تتا استفاده شد (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۱۶؛ بسرا و همکاران، ۲۰۰۶).

پس از انجام مصاحبهٔ تشخیصی بر اساس ملاک‌های DSM-5 و اطمینان از وجود ناتوانایی‌های یادگیری خاص در دانش‌آموزان ارجاعی از مدارس به مرکز اختلالات یادگیری شماره ۳ و ۴ شهرستان کرمانشاه، از والدین آن‌ها رضایت‌نامهٔ کتبی مبنی بر رضایت کامل از شرکت در پژوهش اخذ شد. سپس افراد نمونه به طور تصادفی به دو گروه آزمایش و گواه گمارده

شدند. با استفاده از دستگاه نوروفیدبک، مقدار امواج مغزی تتا و آلفا در نقطهٔ CZ (نقطه‌ی مرکزی جمجمه) ثبت شد. نقطهٔ Cz یک نقطهٔ عمومی است و بنابراین می‌توان این احتمال را مطرح نمود که اگر مداخلهٔ نوروفیدبک بتواند بر امواج مغزی تأثیر بگذارد این نقطه به احتمال بیشتری قادر است تأثیرات آن را نشان دهد. علاوه بر این، برای انتخاب این نقطه جهت ثبت امواج مغزی قبل و بعد از مداخله، از چند تن از اعضای هیئت علمی دانشگاه که در علوم شناختی تخصص داشتند نظرخواهی شد. جهت شناسایی نقطه‌ی Cz، با استفاده از یک متر، ابتدا فاصلهٔ پل بینی تا برجستگی استخوانی بخش میانی پس سری اندازه گرفته شد و سپس فاصلهٔ به دست آمده تقسیم بر دو شد، از برجستگی پشت سر یا پل بینی، این فاصله با اندازهٔ به دست آمده دنبال شد تا نقطهٔ Cz به دست آید (جرکاک، تسوزوکی، دن، ۲۰۰۷). پس از نصب الکترود اکتیو بر نقطهٔ CZ، الکترود رفرنس به لالهٔ گوش راست و الکترود گراند به لالهٔ گوش چپ متصل شد. امواج مغزی در نقطهٔ CZ یک بار با چشمان باز و یک بار با چشمان بسته، هر کدام به مدت ۹۰ ثانیه ثبت شدند چراکه برای ثبت امواج مغزی حداقل به این مدت زمان نیاز هست (فرناندز، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۱۶). در نهایت میانگین داده های به دست آمده در دو حالت (چشم باز / چشم بسته) به دست آمد و بعد از آن نسبت تتا بر آلفا نیز برای هر شخص محاسبه شد (فرناندز، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۱۶). این کار یک بار قبل از مداخله به عنوان پیش‌آزمون، و بعد از مداخله نیز به عنوان پس‌آزمون برای هر دو گروه آزمایش و کنترل انجام شد.

یافته‌ها

جدول ۱، نتایج توصیفی میانگین و انحراف استاندارد نمرات گروه آزمایش و کنترل را در متغیرهای نسبت آلفا به تتا، مؤلفه‌های آزمون حافظهٔ وکسلر، مؤلفه‌های آزمون ویسکانسین و مؤلفه‌های آزمون استروپ نشان می‌دهد. در بخش آمار استنباطی، جهت اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک، اطمینان از تجانس واریانس‌ها از آزمون لون و برای سنجش تأثیر مداخلهٔ نوروفیدبک بر نسبت امواج مغزی تتا بر آلفا از تحلیل کواریانس تک متغیره استفاده شد اما برای سنجش تأثیر مداخله به طور هم‌زمان بر سه متغیر وابستهٔ حافظهٔ فعال، تغییر توجه و بازداری پاسخ که در مجموع ۹ مؤلفه دارند، از یک تحلیل واریانس چند متغیری استفاده شد تا اثرات مداخله به طور همزمان بر هر ۹ مؤلفه که از لحاظ نظری به هم وابسته اند، مشخص شود. در ادامهٔ این آزمون برای مشخص شدن تفاوت دو گروه در مؤلفه‌ها از آزمون تعقیبی استفاده شد.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد نسبت تتا / آلفا، مؤلفه‌های آزمون‌های حافظهٔ وکسلر، آزمون استروپ و آزمون کارت‌های ویسکانسین به تفکیک دو گروه آزمایش و کنترل در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

مؤلفه	گروه	میانگین پیش‌آزمون	انحراف استاندارد پیش‌آزمون	میانگین پس‌آزمون	انحراف استاندارد پس‌آزمون
نسبت تتا / آلفا	آزمایش	۱/۴۷۱	۰/۱۰۳	۱/۱۷۸	۰/۰۹۹
	کنترل	۱/۵۳۵	۰/۱۸۲	۱/۵۴۶	۰/۱۷۷
فراخنای حافظه دیداری	آزمایش	۳/۸۰	۱/۱۳۵	۵/۸۰	۰/۷۸۹
	کنترل	۴/۳۰	۰/۶۷۵	۴/۱۰	۰/۸۷۶
فراخنای حافظه شنیداری	آزمایش	۳/۷۰	۰/۶۷۵	۵/۳۰	۰/۴۸۳
	کنترل	۴/۲۰	۰/۷۸۹	۴/۲۰	۰/۶۳۲
طبقات ویسکانسین	آزمایش	۳/۰۰	۱/۳۳۳	۴/۸۰	۱/۰۳۳
	کنترل	۳/۳۰	۰/۹۴۹	۳/۲۰	۱/۳۹۸
درجازدگی ویسکانسین	آزمایش	۷/۱۰	۱/۱۹۷	۳/۴۰	۱/۰۷۵
	کنترل	۶/۷۰	۲/۲۶۳	۶/۹۰	۲/۱۳۲
صحیح همخوان استروپ	آزمایش	۳۸/۲۰	۴/۷۰۹	۴۴/۵۰	۳/۸۳۷
	کنترل	۳۸/۳۰	۵/۹۴۵	۳۵/۳۰	۱۱/۷۹۵
زمان همخوان استروپ	آزمایش	۱۲۴۵/۶۰	۱۵۴/۱۲۰	۱۰۴۷/۲۰	۱۲۹/۹۴۹
	کنترل	۱۳۰۰/۳۰	۲۰۹/۲۷۰	۱۳۰۱/۲۰	۱۷۲/۷۶۶
صحیح ناهمخوان استروپ	آزمایش	۳۷/۲۰	۴/۸۹۴	۴۴/۷۰	۲/۷۵۱

مؤلفه	گروه	میانگین پیش‌آزمون	انحراف استاندارد پیش‌آزمون	میانگین پس‌آزمون	انحراف استاندارد پس‌آزمون
زمان ناهمخوان استروپ	کنترل	۳۹/۵۰	۶/۰۴۲	۳۸/۹۰	۵/۷۲۴
	آزمایش	۱۲۴۳/۹۰	۱۷۱/۷۴۸	۱۰۷۰/۷۰	۱۲۱/۹۴۵
	کنترل	۱۲۶۰/۳۰	۱۹۶/۴۰۳	۱۲۵۰/۵۰	۱۷۷/۶۴۵

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک جهت آزمون طبیعی بودن توزیع نرمال در داده‌ها نشان دادکه سطح معناداری همهٔ متغیرها بزرگتر از ۰/۰۵ بود (p> ۰/۰۵)، همچنین آزمون لون نشان داد که سطح معناداری تمام متغیرها بیشتر از ۰/۵ است (p> ۰/۰۵)، بنابراین شروط توزیع نرمال و همگنی واریانس‌ها برقرار بود. جهت انجام تحلیل کواریانس تک متغیره جهت بررسی تأثیر نوروفیدبک بر امواج مغزی از تحلیل کواریانس تک متغیره استفاده شد. برای انجام این ازمون باید شرط همگنی شیب رگرسیون در دو گروه نیز برقرار باشد. در این رابطه نتایج نشان داد که تعامل پیش‌آزمون با متغیر گروه‌بندی در مراحل پس‌آزمون در نسبت امواج تتا بر آلفا معنادار نبود. این بدان معناست که فرض همگنی شیب خط رگرسیون در این مؤلفه برقرار است (p= ۰/۰۷۲، F= ۳/۷۰۸). در ادامه نتایج تحلیل کواریانس تک متغیره ارائه شده است.

جدول۲. نتایج تحلیل کواریانس تک‌متغیری برای کنترل پیش‌آزمون‌ها و بررسی تفاوت پس‌آزمون‌های نسبت امواج تتا بر آلفا در دو گروه آزمایش و کنترل

منبع	SS	df	MS	F	sig	η2
گروه	۰/۴۷۶	۱	۰/۴۷۶	۷۷/۷۵۲	۰/۰۰۱	۰/۸۲۱
پیش‌آزمون نسبت تتا/آلفا	۰/۲۶۸	۱	۰/۲۶۸	۴۳/۷۴۵	۰/۰۰۱	۰/۷۲۰
خطا	۰/۱۰۴	۱۷	۰/۰۰۶	–	–	–
کل	۳۸/۱۹۰	۲۰	–	–	––	–

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود پس از تعدیل نمرات پیش‌آزمون نسبت امواج تتا برآلفا، بین پس‌آزمون دو گروه آزمایش و کنترل تفاوت معنادار وجود دارد ($F_{(۱و ۱۷)}$= ۷۷/۷۵۲ ،p< ۰/۰۰۱) بنابراین فرض صفر رد و فرض محقق تأیید می‌شود. این بدان معناست که پس از کنترل و تعدیل نمرات پیش‌آزمون‌ها، نسبت امواج تتا برآلفا در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل کاهش معنادار داشته است.

جدول۳. میانگین و انحراف معیار تعدیل شدهٔ نسبت امواج تتا بر آلفا در گروه‌های آزمایش و کنترل

متغیر	آزمایش		کنترل	
	میانگین	انحراف معیار تعدیل شده	میانگین	انحراف معیار تعدیل شده
نسبت امواج تتا بر آلفا	۱/۲۰۵	۰/۰۲۵	۱/۵۲۱	۰/۰۲۵

جهت بررسی تأثیر نوروفیدبک بر مؤلفه‌های کنش‌های اجرایی از یک آزمون تحلیل واریانس چند متغیری استفاده شد. برای این کار ابتدا پیش فرض‌های مورد نیاز بررسی شدند. در این رابطه شرط همسانی ماتریس‌های واریانس - کوواریانس با آزمون باکس بررسی شد و نتایج نشان داد که این مفروضه برقرار است (*Box's M*= ۱۳۳/۷۸۶ ،p= ۰/۰۹۵ ،F= ۱/۲۹۵). همچنین نتایج نشان داد آماره‌های چند متغیری مربوطه، یعنی لامبدای ویلکس در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است(*Wilks'* = ۰/۱۷۳ *lambda*، p= ۰/۰۰۸، $F_{(۹و ۱۰)}$= ۵/۳۱۱). معنادار شدن این آماره این به این معنی است که دو گروه آزمایش و کنترل حداقل در یکی از متغیرهای وابسته با هم تفاوت معنادار دارند. برای روشن شدن اینکه دو گروه در کدام یک از متغیرها با هم تفاوت دارند از آزمون تعقیبی استفاده شد.

چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود بین نمرات تمام مؤلفه‌ها، بین دوگروه آزمایش و کنترل، حداقل در سطح ۵ درصد تفاوت معنادار وجود دارد. بنابراین میانگین نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش به طور معناداری در تمام مؤلفه‌ها نسبت به گروه کنترل بهبود یافته است. به عبارتی می‌توان گفت پروتکل نوروفیدبک سرکوب امواج تتا بر آلفا در نقطهٔ *Cz* به طور معناداری

موجب افزایش فراخنای حافظهٔ دیداری و شنیداری، بهبود مؤلفه‌های تغییر توجه و مؤلفه‌های بازداری پاسخ در گروه آزمایش شده است.

جدول ٤. نتایج آزمون تعقیبی در تحلیل واریانس چند متغیری برای بررسی تفاوت پس‌آزمون‌های مؤلفه‌های حافظهٔ فعال، تغییر توجه و بازداری پاسخ در دو گروه آزمایش و کنترل

متغیر	زیر مقیاس	مجموع مجذورات	میانگین مجذورات	F	معناداری	اثر اتا
آزمون ویسکانسین	طبقات	۱۲/۸۰۰	۱۲/۸۰۰	۸/۴۷۱	۰/۰۰۹	۰/۳۲۰
	درجا	۶۱/۲۵۰	۶۱/۲۵۰	۲۱/۴۹۱	۰/۰۰۱	۰/۵۴۴
آزمون استروپ	صحیح	۲۶۶/۴۵۰	۲۶۶/۴۵۰	۱۱/۱۴۱	۰/۰۰۴	۰/۳۸۲
	همخوان صحیح	۴۲۳/۲۰۰	۴۲۳/۲۰۰	۵/۵۰۲	۰/۰۳۱	۰/۲۳۴
	همخوان زمان	۳۲۲۵۸۰/۰۰	۳۲۲۵۸۰/۰۰	۱۳/۸۰۵	۰/۰۰۲	۰/۴۳۴
	ناهمخوان صحیح	۱۶۸/۲۰۰	۱۶۸/۲۰۰	۸/۳۴۰	۰/۰۱۰	۰/۳۱۷
	ناهمخوان زمان	۱۶۱۶۴۰/۲۰۰	۱۶۱۶۴۰/۲۰۰	۸/۸۸	۰/۰۰۱	۰/۵۳۶
آزمون‌حافظه وکسلر	فراخنای دیداری	۱۴/۴۵۰	۱۴/۴۵۰	۲۰/۸۰۸	۰/۰۰۱	۰/۵۳۶
	فراخنای شنیداری	۶/۰۵۰	۶/۰۵۰	۱۹/۱۰۵	۰/۰۰۱	۰/۵۱۵

بحث و نتیجه‌گیری

هدف کلی پژوهش حاضر آزمون تأثیر پروتکل سرکوب نسبت تتا بر آلفا در نقطهٔ *Cz* بر امواج مغزی و کنش‌های اجرایی حافظه، تغییر توجه و بازداری پاسخ در کودکان ۸ تا ۱۲ سالهٔ دارای نارساخوانی یا نارسانویسی بود. نتایج این پژوهش نشان داد که نوروفیدبک می‌تواند با سرکوب کردن نسبت امواج تتا بر آلفا در نقطه‌ی *Cz* موجب تعدیل امواج مغزی و همچنین ارتقاء برخی کنش‌های اجرایی پایه نظیر حافظهٔ فعال، تغییر توجه و بازداری پاسخ در کودکان دارای نارساخوانی یا نارسانویسی شود. نتایج این پژوهش در مورد تأثیرات نوروفیدبک بر کنش‌های اجرایی همسو با نتایج پژوهش های صادقی، نظری (۲۰۱۵)، ریانو–گارزون و همکاران (۲۰۱۸)، وایتون، کریبام (۲۰۱۵)، نظیر و همکاران (۲۰۱۸)، است که تأثیرات نوروفیدبک را به ترتیب بر طیفی از توانایی‌های شناختی از جمله تمرکز دیداری فضایی، عملکرد شناختی، کنش‌های اجرایی و حافظهٔ دیداری سنجیده بودند. همچنین این قسمت از نتایج با یافته‌های جیرایوچاروینساک و همکاران (۲۰۱۹)، دانا و همکاران (۲۰۱۹) در مورد تأثیرات نوروفیدبک بر کنش های اجرایی نیز همسو بود. نتایج این پژوهش در رابطه با تأثیرات نوروفیدبک بر امواج مغزی با نتایج پژوهش‌های وایتون، کریبام (۲۰۱۵)، معین، اسدی گندمانی، امیری (۱۳۹۷)، نریمانی، ابوالقاسمی، رجبی، نظری، زاهد (۱۳۹۱)، فرناندز و همکاران (۲۰۱۶)، رجبی، پاکیزه، مرادی (۲۰۱۹)، همسو بود.

نتایج فوق را می‌توان به طوری که در ادامه مطرح می‌شود، تبیین نمود. کنش‌های اجرایی در طول دوران کودکی و بزرگسالی همزمان با تولید انبوه سیناپس‌ها، یک دورهٔ طولانی از هرس نورونی، میلین‌دار شدن نواحی مغز و به کارگیری و تحکیم شبکه‌های عصبی، تحول می‌یابند (تائو، پترسون، ۲۰۱۰). تجربیات اولیهٔ مثبت و منفی می‌توانند در مسیر قشر پیش پیشانی تأثیر بگذارند. به نظر می‌رسد که دورهٔ طولانی مدت تحول می‌تواند منجر به افزایش حساسیت به تأثیرات و تجارب محیطی شود که احتمالا این حساسیت می‌تواند هم موجب افزایش آسیب‌پذیری در مقابل خطر و هم موجب افزایش فرصت برای مداخله شود (واس، ۲۰۱۵؛ نقل از پاسکالوتو، ۲۰۱۹). در واقع شواهد نشان می‌دهند که کنش‌های اجرایی به انواع مختلف آموزش حساس هستند. کنش‌های اجرایی را می‌توان به طور مستقیم با استفاده از ابزارهای رایانه‌ای که یک یا چند کارکرد اجرایی را هدف قرار می‌دهند بهبود بخشید (پاسکالوتو، ۲۰۱۹).

نوروفیدبک که در پژوهش حاضر به عنوان مداخله در نظر گرفته شده است، ممکن است با تقویت مدارهای عصبی، اثراتی در سطح سیناپسی ایجاد کند و نوسانات غیر طبیعی مغز را به طور مستقیم تعدیل کند (قازیری و همکاران، ۲۰۱۳؛ رز و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا تالاموس یک نامزد احتمالی برای ایجاد تغییرات اولیه، توسط نوروفیدبک است، این تغییرات اولیه در ادامه ممکن است از طریق تلفیق جریان‌های قشری – تالاموسی امواج مغزی را اصلاح نمایند (استرمن، ۱۹۹۶؛ نقل از فرناندز و

همکاران، ۲۰۰۷). این فرضیه به وسیلهٔ این حقیقت که تأثیرات نوروفیدبک به صورت منتشر است، حمایت می‌شود. در واقع تغییرات به منطقه‌ای که نوروفیدبک در آن به کار برده شده است محدود نمی‌شود، در نتیجه تغییرات امواج مغزی احتمالا نتیجهٔ سازماندهی مجدد پیچیدهٔ فعالیت امواج مغزی باشد (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۷).

از طرفی یافته‌های این پژوهش در مورد تأثیرات نوروفیدبک بر امواج مغزی با یافته‌های صادقی و همکاران (۱۳۹۲)، فرناندز و همکاران (۲۰۰۷)، نظری و همکاران (۲۰۱۲)، فرناندز و همکاران (۲۰۰۳)، ناهمسو بود. پژوهش‌های فوق نشان دادند که بعد از مداخلهٔ نوروفیدبک امواج مغزی تغییر نمی‌کنند هرچند بعضی از این پژوهش‌ها تأثیرات نوروفیدبک را در پیگیری خود بعد از چند ماه نشان داده‌اند (فرناندز، ۲۰۰۷). یکی از دلایل ناهمسویی نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش فرناندز و همکاران (۲۰۰۷) شاید این باشد که در پژوهش این مؤلفان، ابتدا نسبت غیر طبیعی امواج تتا بر آلفا برای هر شرکت‌کننده به طور جداگانه در اکثر نقاط سر بررسی شد و سپس منطقه‌ای با بیشترین نسبت تتا بر آلفا انتخاب شد تا مورد مداخله قرار بگیرد. با توجه به این مطلب، برای شرکت‌کنندگان مختلف، نقاط متفاوتی جهت مداخله انتخاب شده است و این غیر یک دست شدن محل مداخله می‌تواند تا حدودی توجیه کنندهٔ این موضوع باشد که چرا امواج مغزی بلافاصله پس از مداخله در میانگین کل گروه شرکت‌کننده تغییر نکرده است. در پژوهش حاضر به خاطر تسهیل اجرای ارزیابی و صرفه جویی در زمان و کاربردی‌تر نمودن پروتکل فقط از نقطهٔ *Cz* استفاده شد و کودکانی که در این نقطه نسبت بالاتری از نسبت امواج تتا بر آلفا داشتند به منظور شرکت در پژوهش انتخاب شدند. بدیهی است که نقطهٔ *Cz* به واسطهٔ تأثیرات منتشر نوروفیدبک (فرناندز، ۲۰۱۶) می‌تواند به یک اندازه تمام قسمت‌های مغز را که شاید در کنش‌های اجرایی نقش داشته باشند، تحت تأثیر قرار دهد. از دلایل دیگر ناهمسویی نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش فرناندز و همکاران (۲۰۰۷) می‌توان به حجم نمونهٔ کوچک و انتساب غیرتصادفی آزمودنی‌ها در آن پژوهش اشاره نمود. به طور کلی از دلایل ناهمسویی نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های مشابه می‌توان به نوع طرح و حجم گروه‌های آن‌ها اشاره داشت. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش صادقی و همکاران (۱۳۹۲) و نظری و همکاران (۲۰۱۲) نیز ناهمسو بود. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود که طرح آن از نوع تک آزمودنی بود نشان دادند که پس از ۱۲ جلسه مداخلهٔ نوروفیدبک، تغییرات عمده در توان مطلق امواج مغزی ایجاد نمی‌شود. از دلایل این ناهمسویی می‌توان به عدم استفاده از گروه کنترل و تعداد کم آزمودنی (۴ نفر) و مهم‌تر از همه تعداد جلسات مداخله در پژوهش آنان اشاره نمود که فقط ۱۲ جلسه بوده است چرا که ممکن است برای ایجاد تغییرات معنادار در امواج مغزی به جلسات مداخلهٔ بیشتری نیاز باشد. نظری و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود فقط از یک گروه ۶ نفره استفاده کردند.

در پژوهش حاضر سعی شد تا اثر بخشی یک پروتکل که بر سرکوبی نسبت امواج تتا بر آلفا تأکید داشت با ایجاد تغییراتی جزئی، بر اساس یک مدل کاربردی برای کنش‌های اجرایی پایه، مورد آزمون قرار گیرد. نتایج، اثربخشی این پروتکل را با توجه به مدل میاک و همکاران (۲۰۰۰) تأیید کردند. در مجموع با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان این‌گونه عنوان کرد که پروتکل سرکوب نسبت امواج تتا بر آلفا در نقطهٔ *Cz* به عنوان یک مداخلهٔ موفق می‌تواند در توانبخشی کودکان دارای ناتوانایی‌های یادگیری خاص به کار برده شود. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به شرایط خاص شیوع کرونا و استرس احتمالی شرکت‌کنندگان در هنگام دریافت مداخله اشاره داشت. همچنین پوشیدن ماسک توسط شرکت‌کنندگان شاید موجب تنش و بی‌قراری بعضی از آن‌ها و به طور کلی کاهش اندازهٔ اثر مداخله شده باشد، بر این اساس پیشنهاد می‌شود تا در آینده این پژوهش در شرایط عادی و به دور از استرس شرکت‌کنندگان انجام پذیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول در رشتهٔ روانشناسی دانشگاه رازی کرمانشاه است. تمامی افراد شرکت‌کننده در پژوهش به صورت آگاهانه و داوطلبانه در پژوهش مشارکت نمودند و اصل رازداری در پژوهش رعایت گشت.

حامی مالی: این پژوهش در قالب رسالهٔ دکتری با کد ۹۴۴۹، تحت حمایت ستاد توسعهٔ علوم و فناوری‌های شناختی است.

نقش هر یک از نویسندگان: نویسندهٔ اول محقق اصلی این پژوهش است. نویسندهٔ دوم استاد راهنما و نویسندهٔ مسئول، و نویسندهٔ سوم استاد مشاور رساله است.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ تضاد منافعی در رابطه با این پژوهش اعلام نمی‌نمایند.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله استاد راهنما، استاد مشاور، والدین شرکت‌کنندگان و تمامی شرکت‌کنندگان در این پژوهش تشکر می‌شود.

References

Allanson, J. and Fairclough, S.H. (2004) A Research Agenda for Physiological Computing. Interacting with Computers, 16, 857-878. [Link]

American Psychiatric Association, APA (Ed.). (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders, DSM-5®(5th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Pub. [Link]

Anderson, V. and Castillo, U. (2002). "Neuropsychological Evolution of Deficits in Executive Functioning for ADHD children with or without Learning Disabilities". *Psychological science Journal*, Vol.22, 37-51. [Link]

Auerbach, J. Gross-Tsur, V. Manor, O. & Shalev, R. (2008). Emotional and behavioral characteristics over a six-year period in youths with persistent and nonpersistent dyscalculia. *Journal of learning disabilities*, *41*(3), 263-273. [Link]

Azizi, A., Drikvand, F. M., & Sepahvandi, M. A. (2018). Comparison of the Effect of Cognitive Rehabilitation and Neurofeedback on Sustained Attention Among Elementary School Students with Specific Learning Disorder: A Preliminary Randomized Controlled Clinical Trial. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *43*(4), 301-307. [Link]

Barbosa, T., Rodrigues, C. C., Mello, C. B. D., & Bueno, O. F. A. (2019). Executive functions in children with dyslexia. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, *77*(4), 254-259. [Link]

Becerra, J. T., Fernandez, T., & Harmony, M. (2006). Follow up Study of Learning Disabled Children Treated with Neurofeedback or Placebo. *Clinical EEG and Neuroscience*,37(3), 198-204. [Link]

Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental review*, *29*(3), 180-200. [Link]

Breteler, M.H.M., Arns, M., Peters, S., Giepmans, I. and Verhoeven, L. (2010) Improvements in Spelling after QEEGBased Neurofeedback in Dyslexia: A Randomized Controlled Treatment Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 5-11. [Link]

Breteler, M.H.M., Arns, M., Peters, S., Giepmans, I. and Verhoeven, L. (2010) Improvements in Spelling after QEEGBased Neurofeedback in Dyslexia: A Randomized Controlled Treatment Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 5-11. [Link]

Chabot, R. J., di Michele, F., & John, E. R. (2001). The clinical role of computerized EEG in the evaluation and treatment of learning and attention disorders in children and adolescents. *The Journal of Neuropsychiatry & Clinical Neurosciences*, 13, 171–186. [Link]

Coben, R., Wright, E. K., Decker, S. L., & Morgan, T. (2015). The impact of coherence neurofeedback on reading delays in learning disabled children: A randomized controlled study. *NeuroRegulation*, *2*(4), 168-168. [Link]

Costanzo, F., Varuzza, C., Rossi, S., Sdoia, S., Varvara, P., Oliveri, M., ... & Menghini, D. (2016). Evidence for reading improvement following tDCS treatment in children and adolescents with Dyslexia. *Restorative neurology and neuroscience*, *34*(2), 215-226. [Link]

Dana, A., Rafiee. S, & Gholami, A. (2019). The effect of Neurofeedback Training on Working Memory and Perceptual-motor development in Athlete Boys. *Journal of Rehabilitation Sciences & Research*, *6*(1), 34-40. [Link]

Dawson, P. and Guar, R. (2004). Executive Skills in Children and Adolescents. *New York: Guilford Press*. [Link]

Deilami, M., Jahandideh, A., Kazemnejad, Y., Fakour, Y., Alipoor, S., Rabiee, F., ... & Mosavi, S. A. (2016). The effect of neurofeedback therapy on reducing symptoms associated with attention deficit hyperactivity disorder: a case series study. *Basic and clinical neuroscience*, *7*(2), 167-171. [Link]

Dekker MK, Sitskoorn MM, Denissen AJ. (2014). The time-course of alpha neurofeedback training effects in healthy participants. *Biological Psychology*, 95, 70-73. [Link]

Diamond, A. (2013). "Executive functions". Annual Review of Psychology. 64: 135- 168. [Link]

Facoetti, A., Luisa Lorusso, M., Paganoni, P., Umilta, C. and Gastone Mascetti, G. (2003) The Role of Visuospatial Attention in Developmental Dyslexia: Evidence from a Rehabilitation Study. *Cognitive Brain Research*, 15, 154-164. [Link]

Fernández T, Herrera W, Harmony T, Díaz-Comas L, Santiago E, Sánchez, et al. (2003). EEG and behavioral changes following neurofeedback treatment inlearning disabled children. *Clin Electroencephalogr; 34:* 145-152. [Link]

Fernández, T., Bosch-Bayard, J., Harmony, T., Caballero, M. I., Díaz-Comas, L., Galán, L., ... & Otero-Ojeda, G. (2016). Neurofeedback in learning disabled children: visual versus auditory reinforcement.

Applied psychophysiology and biofeedback, *41*(1), 27-37. [Link]

Fernández, T., Harmony, T., Fernández-Bouzas, A., Díaz-Comas, L., Prado-Alcalá, R. A., Valdés-Sosa, P., ... & Aubert, E. (2007). Changes in EEG current sources induced by neurofeedback in learning disabled children. An exploratory study. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *32*(3-4), 169-183. [Link]

Firouzi S, Abolmaali Alhosseini K, Nokani M. Comparison of the effectiveness of computer assisted cognitive rehabilitation, sensory integration and combining these two methods on the improvement working memory of students with specific learning disabilities. *Journal of Psychological Science*, 20(97), 123-137. [Link]

Fonseca, L. C., Tedrus, G. M., Chiodi, M. G., Cerqueira, J. N., & Tonelotto, J. M. (2006). Quantitative EEG in children with learning disabilities: Analysis of band power. *Archivos de Neuropsiquiatrı´a*, 64, 376–381. [Link]

Fortes, I. S., Paula, C. S., Oliveira, M. C., Bordin, I. A., de Jesus Mari, J., & Rohde, L. A. (2016). A cross-sectional study to assess the prevalence of DSM-5 specific learning disorders in representative school samples from the second to sixth grade in Brazil.*European Child & Adolescent Psychiatry*, 25(2), 195–207. [Link]

Garcia, R. B., Mammarella, I. C., Tripodi, D., & Cornoldi, C. (2014). Visuospatial working memory for locations, colours, and binding in typically developing children and in children with dyslexia and non-verbal learning disability. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(1), 17–33. [Link]

Ghadiri, Fatemeh. Jazayeri, Alireza. Ashayeri, Hassan. Ghazi, Tabatabaei, Mahmoud. (2007). The Role of Cognitive Rehabilitation in Reduction of Executive Function Deficits and Obsessive-Compulsive Symptoms in Schizo-Obsessive Patients, *Archives of Rehabilitation*, 7(4), 15-24. [Link].

Ghaziri, J., Tucholka, A., Larue, V., Blanchette-Sylvestre, M., Reyburn, G., Gilbert, G.,... Beauregard, M. (2013). Neurofeedback training induces changes in white and gray matter. *Clinical EEG And Neuroscience*, *44*(4), 265-272. [Link]

Hashemian, P., & Hashemian, P. (2015). Effectiveness of neuro-feedback on mathematics disorder. *Journal of Psychiatry*, *18*(2), 243. [Link]

Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017-2036. [Link]

Jacobs, E. H. (2005). Neurofeedback treatment of two children with learning, attention, mood, social, and developmental deficits. *Journal of Neurotherapy*, 9(4), 55-70. [Link]

Jafari F, Arjmandnia A A, Rostami R. The effect of neuropsychological rehabilitation program on working memory and response inhibition of students with dysgraphia. *Journal of Psychological Science*, 20(98), 233-245. [Link]

Jazayeri AR, Poorshahbaz A. Reliability and Validity of Wechsler Intelligence Scale for children-Third Edition (WISC-III) in Iran. J Med Edu 2003; 2(2): 75-80. (Persian). [Link]

Jirayucharoensak, S., Israsena, P., Pan-ngum, S., Hemrungrojn, S., & Maes, M. (2019). A game-based neurofeedback training system to enhance cognitive performance in healthy elderly subjects and in patients with amnestic mild cognitive impairment. *Clinical interventions in aging*, *14*, 347. [Link]

Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: their validity as relative head-surface-based positioning systems. *Neuroimage*, 34(4), 1600-1611. [Link]

Khodadadi, Mojtaba and Amani, Hossein. (2014). Wexler working memory software. *Tehran: Sina Cognitive Behavioral Sciences Research Institute*. (Persian). [Link]

Khodadadi, Mojtaba; Mashhadi, Ali and Amani, Hossein (2014). Simple Strop software. *Tehran: Sina Cognitive Behavioral Sciences Research Institute.* (Persian). [Link]

Khodadadi, Mojtaba; Shahgholian, Mahnaz and Amani, Hossein (2014). Wisconsin Card Classification Software. *Tehran: Sina Cognitive Behavioral Sciences Research Institut.* (Persian). [Link]

Martinez Perez, T., Majerus, S., & Poncelet, M. (2012). The contribution of short-term memory for serial order to early reading acquisition: evidence from a longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 708–723. [Link]

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, *41*(1), 49-100. [Link]

Moin, Narges. Asadi Gandomani, Roghayeh. Amiri, Mohsen. (2018). The Effect of Neurofeedback on

Improving Executive Functions in Children With Attention Deficit/Hyperactivity Disorder, *Archives of Rehabilitation*, 19(3), 220-227. (Persian). [Link]

Narimani, Mohammad. Abolghasemi, Abbas. Rajab, Souran. Nazari, Mohammad Ali. Zahed, Adel. (2012). The Impact of EEG Neurobiofeedback on Dyslexia Symptoms, *Journal of Exceptional Children*, 12(1), 21-34. (Persian). [Link]

Nazari, M.A., Mosanezhad, E., Hashemi, T. and Jahan, A. (2012) The Effectiveness of Neurofeedback Training on EEG Coherence and Neuropsychological Functions in Children with Reading Disability. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43, 315-322. [Link]

Nazer, M., Mirzaei, H., & Mokhtaree, M. (2018). Effectiveness of neurofeedback training on verbal memory, visual memory and self-efficacy in students. *Electronic physician*, *10*(9), 7259-7265. [Link]

Nikoubakht A, shehniyailagh M, Kiamanesh A. The comparison of the effectiveness of computer-based education and traditional education on the numerical memory in students with mathematics disorder, *Journal of Psychological Science*, 18(73), 55-65. [Link]

Pasqualotto, A. (2019). Implementing evidence-based treatments for developmental dyslexia: a comparison between different approaches *(Doctoral dissertation, University of Trento)*. [Link]

Raesi, S., Dadgar, H., Soleymani, Z., & Hajjeforoush, V. (2016). Efficacy of Neurofeedback Training on Reading and Spelling Skills of 8 to 12 Years Old Children With Dyslexia. *Journal of Modern Rehabilitation*, 177-184. [Link]

Rajabi, S., Pakize, A., & Moradi, N. (2019). Effect of combined neurofeedback and game-based cognitive training on the treatment of ADHD: A randomized controlled study. *Applied Neuropsychology: Child*, 1-13. [Link]

Riaño-Garzón, M. E., Díaz-Camargo, E. A., Torrado-Rodríguez, J. L., Uribe-Alvarado, J. I., Contreras-Velásquez, J. C., Fierro-Zarate, C. A., ... & Bermudez, V. (2018). Neurofeedback effects on cognitive performance in children with attention deficit. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, *37*(3), 205-211. [Link]

Ros, T., Théberge, J., Frewen, P. A., Kluetsch, R., Densmore, M., Calhoun, V. D., & Lanius, R. A. (2013). Mind over chatter: Plastic up-regulation of the fMRI salience network directly after EEG neurofeedback. *Neuroimage*, *65*, 324-335. [Link]

Rosenblum, S., Aloni, T., & Josman, N. (2010). Relationships between handwriting performance and organizational abilities among children with and without dysgraphia: A preliminary study. *Research in developmental disabilities*, *31*(2), 502-509. [Link]

Rumsey, J. M., Nace, K., Donohue, B., Wise, D., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Archives of Neurology*, *54*(5), 562-573. [Link]

Sadeghi, Neda. Nazari, Mohammad Ali. Alizade, Mehdi. Kamali, Mohammad. (2013). The effect of neurofeedback training on EEG and balance performance in children with reading disorder, *Journal of Modern Rehabilitation*, 7(3), 32-39. (Persian). [Link]

Saed. O, Rushan. R,. Moradi. A.R. (2010). Investigating Psychometric Properties of Wechsler Memory Scale-Third Edition for the Students of Tehran Universities, *Journal of Daneshvar Behavior*, 15(31), 57. (Persian). [Link]

Sangani, A., Jangi, P., Ramak, N., & Ahmadi, A. (2019). Identification of difference of working memory and sensory processing styles in boys and girls with writing-learning disorder. *Journal of Nursing and Midwifery Sciences*, *6*(4), 177-182. [Link]

Schwarb, H., Nail, J., & Schumacher, E. H. (2016). Working memory training improves visual short-term memory capacity. *Psychological Research*, 80(1), 128–148. [Link]

Shahgholian, Mahnaz. Azadfallah, Parviz. Fathi, Ashtiani, Ali. Khodadadi, Mojtaba. (2011). Design of the Wisconsin Card Sorting Test (WCST) computerized version: Theoretical Fundamental, Developing and Psychometrics Characteristics, *Quarterly of Clinical Psychology Studies*, 1(4), 111-133.(Persian). [Link]

Shin, M. S., Jeon, H., Kim, M., Hwang, T., Oh, S. J., Hwangbo, M., & Kim, K. J. (2016). Effects of smart-tablet-based neurofeedback training on cognitive function in children with attention problems. *Journal of child neurology*, *31*(6), 750-760. [Link]

Tau, G. Z., & Peterson, B. S. (2010). Normal development of brain circuits. *Neuropsychopharmacology*, *35*(1),147-168. [Link]

Vidyasagar, T.R. and Pammer, K. (2010) Dyslexia: A Deficit in Visuo-Spatial Attention, Not in Phonological Processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 57-63. [Link]

Volkmer. S, Galuschka. K, Schulte-Körne.G. (2019). Early identification and intervention for children with initial signs of reading deficits - A blinded randomized controlled trial. *Learning and Instruction*, 59: 1–12. [Link]

Wigton, N. L., & Krigbaum, G. (2019). Attention, executive function, behavior, and electrocortical function, significantly improved with 19-channel z-score neurofeedback in a clinical setting: A pilot study. *Journal of attention disorders*, *23*(4), 398-408. [Link]

Zare, Hossien. Farzad, Valiallah. Alipour, Ahmad. Nazer, Mohammad. (2012). Effectiveness of Attention-shaping Training inReinforcing Attention in Drivers with Crash History, *Advances in Cognitive Science*, 14(2), 87-92. [Link]

Zhao, J., Yang, Y., Song, Y. W., & Bi, H. Y. (2015). Verbal short-term memory deficits in Chinese children with dyslexia may not be a problem with the activation of phonological representations. *Dyslexia*, 21(4), 304–322. [Link]