KHARAZMI UNIVERSITY

Research in Sport Management and Motor Behavior

Print ISSN: 2252-0716 - Online ISSN: 2716-9855

The Role of Working Memory in Errorless and Errorful Learning Protocols for Facilitating Implicit Motor Learning in Adolescents With and Without Intellectual Disabilities

Ali Hossein Naseri[1*] Abbas Bahram[2] Hamid Salehi [3] Afkham Daneshfar [4]

1. Ph.D graduate, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Professor, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
4. Department of motor behavior, Faculty of sport sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.

corresponding author: **Ali Hossein Naseri, Ali_Naseri1356@yahoo.com**

ARTICLE INFO

Article type
Research Article

Article history
Received: 2023/05/20
Revised: 2023/11/18
Accepted: 2024/01/19

KEYWORDS:
Dual-Task Paradigm, IQ, Motor Skill Acquisition, Practice Protocols.

How to Cite:
Ali Hossein Naser, Abbas Bahram, Hamid Salehi, Afkham Daneshfar. **The Role of Working Memory in Errorless and Errorful Learning Protocols for Facilitating Implicit Motor Learning in Adolescents With and Without Intellectual Disabilities,** *Research in Sport Management & Motor Behavior*, 2024: 14(28): 34-51

ABSTRACT

This study aimed to examine the role of working memory in the effectiveness of errorless protocols for facilitating implicit motor learning in adolescents with and without intellectual disabilities. A total of 20 adolescent boys with intellectual disabilities and 20 typically developing adolescent boys (M_{age} = 12.12 ± 0.80 years) voluntarily participated in the experiment. The participants with and without intellectual disabilities were separately assigned to either the errorless or errorful practice group based on their IQ scores. The task involved aiming at concentric targets using a mini-basketball. The errorless practice group practiced the task from near to far distances (3, 3.25, 3.5, and 3.75 meters), while the errorful practice group practiced from far to near distances. Implicit motor learning activation was assessed by comparing performances in dual-task conditions immediately after practice, as well as after 24 hours and one week. Additionally, working memory engagement during practice was evaluated. Results indicated that the errorless group, which required less working memory engagement during practice, showed significantly better performance in dual-task conditions compared to the errorful group ($p < 0.05$). The findings regarding the impact of practice errors on enhancing implicit motor learning in both adolescents with and without intellectual disabilities are crucial for developing motor skill acquisition strategies for adolescents, regardless of cognitive abilities. The results were consistent with the predictions of Adams' closed-loop theory and the reinvestment theory concerning the benefits of reducing errors in motor learning, but they were not aligned with Schmidt's schema theory.

Published by *Kharazmi University, Tehran, Iran*. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

پژوهش در مدیریت ورزشی و رفتار حرکتی

دانشگاه خوارزمی

نقش حافظه کاری در پروتکل‌های یادگیری کم خطا و پر خطا برای تسهیل یادگیری حرکتی ضمنی در نوجوانان با و بدون ناتوانی ذهنی

علی‌حسین ناصری*[۱] عباس بهرام[۲] حمید صالحی[۳] افخم دانشفر[٤]

۱.دانش‌آموخته دکتری دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲.استاد دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳.دانشیار دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
٤. دانشیار گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: **علی‌حسین ناصری ali_naseri1356@yahoo.com**

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۰

ویرایش: ۱۴۰۲/۸/۲۷

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

واژه های کلیدی:

پارادیم تکلیف دوگانه، ضریب هوشی، اکتساب مهارت حرکتی، پروتکل‌های تمرین

ارجاع:

علی حسین ناصری، عباس بهرام، حمید صالحی، افخم دانشفر. **نقش حافظه کاری در پروتکل های یادگیری کم‌خطا و پرخطا برای تسهیل یادگیری حرکتی ضمنی در نوجوانان با و بدون ناتوانی ذهنی.** *پژوهش در مدیریت ورزشی و رفتار حرکتی*، ۱۴۰۳: ۱٤(۲۸): ۳٤-۵۱

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی نقش حافظه کاری در اثربخشی پروتکل‌های تمرین کم‌خطا برای تسهیل یادگیری حرکتی ضمنی در نوجوانان با و بدون کم‌توانی ذهنی انجام شد. تعداد ۲۰ نوجوان پسر با کم‌توانی ذهنی و ۲۰ نوجوان پسر عادی (میانگین سن = ۱۲٫۱۲±۰٫۸۰ سال) به‌صورت داوطلبانه در این پژوهش مشارکت کردند. شرکت‌کنندگان کم‌توان ذهنی و عادی به طور جداگانه، بر اساس هوش‌بهر در گروه‌های تمرین کم‌خطا و پرخطا جایگزین شدند. تکلیف تمرینی شامل هدف‌گیری به سمت اهداف هم‌مرکز با استفاده از توپ مینی‌بسکتبال بود. گروه تمرین کم‌خطا تکلیف را از فواصل نزدیک به‌دور (۳، ۳٫۲۵، ۳٫۵ و ۳٫۷۵ متر) انجام دادند، درحالی‌که گروه تمرین پرخطا از فواصل دور به نزدیک تمرین کردند. میزان فعال‌سازی یادگیری حرکتی ضمنی با مقایسه عملکرد در شرایط تکلیف دوگانه بلافاصله پس از تمرین، و همچنین پس از ۲٤ ساعت و یک هفته ارزیابی شد. همچنین میزان درگیری حافظه کاری در طول تمرین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گروه تمرین کم‌خطا که به درگیری کمتری در حافظه کاری نیاز داشت، در آزمون در شرایط تکلیف دوگانه عملکرد بهتری نسبت به گروه پرخطا نشان دادند ($p<۰/۰۵$). این یافته‌ها در خصوص تأثیر خطاها در یادگیری حرکتی ضمنی در نوجوانان با و بدون کم‌توانی ذهنی برای طراحی استراتژی‌های یادگیری مهارت‌های حرکتی در نوجوانان، صرف‌نظر از توانایی‌های شناختی، اهمیت زیادی دارند. نتایج با پیش‌بینی‌های نظریه حلقه بسته آدامز و نظریه بازگماری در خصوص مزایای کاهش خطاها در یادگیری حرکتی هم‌راستا بود، اما با نظریه طرح‌واره اشمیت سازگار نبود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

Extended Abstract

Motor learning unfolds through multiple stages. Initially, learners develop strategies and test hypotheses to achieve desired movements, leading to high cognitive demands (1). As proficiency increases, skills become automatic, enabling the learners to perform secondary tasks alongside the primary motor skill (2).

Theories like Adams' closed-loop model (3) and Schmidt's schema theory (4, 5) highlight the role of errors in motor learning. The challenge point framework (6) indicates that an optimal error level, matched to the learner's skill and processing capacity, can enhance learning. Likewise, the reinvestment theory (7) suggests that reducing errors lowers working memory load, thus promoting implicit motor learning.

Errorless training aims to minimize mistakes early on, fostering skill acquisition with minimal cognitive and working memory demands (Masters & Maxwell, 2004). However, most studies on errorless training focus on adults. Children with intellectual disabilities face difficulties in motor learning due to processing limits and weaker working memory, especially in early stages requiring high cognitive engagement (8). This research explores the impacts of errorless versus errorful training on implicit motor learning in adolescents, both with and without intellectual disabilities.

Methods

A total of 20 adolescent boys with intellectual disabilities and 20 peers, typically developing teenage boys (M_{age} = 12.12 ± 0.80 years), voluntarily participated. The IQ of the participants with intellectual disabilities ranged from 55 to 70. Both groups were randomly assigned to errorless or errorful practice groups based on their scores on the Wechsler Intelligence Scale for Children (10 participants per group). Parental consent was obtained for all participants. The participants had no prior experience with the task used in the study and were unaware of the main goals of the research.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

Task and Instruments

The practice task involved shooting a mini-basketball using a chest pass technique from various distances toward a target board, which included concentric circles with radii of 10, 20, 30, 40, and 50 centimeters placed on the wall according to the participant's height.

Geometric shapes, flowers, and animals were shown to the participants before and after the acquisition phase to assess working memory engagement, and they were asked to identify the number of similar elements. Participants proceeded to the practice task after learning the chest pass technique in basketball.

Practice Protocols

The training was performed from 3, 3.25, 3.5, and 3.75 meters. In the errorless protocol, participants began practicing from the closest distance and progressively moved to the farthest distance (10 trails per distance). In the errorful protocol, participants started practicing from the farthest distance and moved toward the closest distance.

Each participant completed five blocks of 40 trials (a total of 200 trials) in a single session. The dual-task tests included 75 trials from a distance of 4 meters, divided into three testing sessions (immediate, 24-hour delayed, and one-week delayed). During the dual-task test, participants performed a secondary cognitive task of counting even numbers while listening to a metronome beat set at one-second intervals alongside the primary aiming task.

Results

To analyze the accuracy performance data during the acquisition phase, a mixed ANOVA 2(Group: children with and without intellectual disabilities) × 2(Practice protocols: errorless vs. errorful) × 5(40-trail practice blocks), with repeated measures on the last factor was used. The results indicated that the three-way interaction was significant, $F(1, 36) = 6.98$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .16$, suggesting that the performance improvement during the acquisition phase differed between children with ($M = 36.04$, $SD = 2.00$) and without ($M = 24.93$, $SD = 2.14$) intellectual disabilities across the errorless and errorful practice conditions ($p < .05$).

For the dual-task tests, a mixed ANOVA 2(Group: children with and without intellectual disabilities) × 2(Practice protocols: errorless vs. errorful) × 3(Test time:

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

immediate, 24-hour delayed, and 1-week delayed) design was used. The results revealed that the three-way interaction was significant, $F(1, 36) = 7.44$, $p < .03$, $\eta_p^2 = .17$. Tukey HSD post hoc tests showed that in the typically developing group, the errorless practice condition ($M = 36.84$, $SD = 2.45$) outperformed the errorful condition ($M = 28.99$, $SD = 2.13$) ($p < .05$). Similarly, for children with intellectual disabilities, performance in the errorless condition ($M = 36.04$, $SD = 2.00$) was superior to the errorful condition ($M = 24.93$, $SD = 2.14$) ($p < .05$).

To assess the level of working memory involvement during practice, a two-way ANOVA 2(Group: children with and without intellectual disabilities) × 2 (Practice protocols: errorless vs. errorful) was used. The results revealed that the interaction effect was significant, $F(1, 36) = 11.64$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .24$. Tukey HSD post hoc tests revealed that typically developing children in the errorless condition outperformed those in the errorful condition ($p < .01$). Additionally, children with intellectual disabilities, the errorless group showed better performance than the errorful group ($p < .01$).

Table 1. Variables in the research design for two groups of adolescents with intellectual disabilities and their typically developing peers, who practiced an aiming task using errorful and errorless protocols and participated in IQ, working memory, and dual-task tests ($N = 40$).

Practice Protocol		Age (years)	IQ Score	Working Memory	Dual-Task Performance		
					Immediate	24-h delay	1-week delay
Intellectually Disabled	Errorless	12.32 ± 0.81	11.65 ± 3.30	25.01± 9.30	34.80 ± 2.80	36.44 ± 1.54	36.54 ± 1.83
	Errorful	12.23 ± 0.84	65.14 ± 2.11	23.03 ± 6.32	27.30 ± 2.10	26.51 ± 2.10	24.44 ± 2.24
Typically Developing Peers	Errorless	12.13 ± 0.91	106.12 ± 14.14	59.01 ± 8.44	36.36 ± 2.23	37.04 ± 2.72	37.54 ± 2.44
	Errorful	12.45 ± 0.90	107.01 ± 13.03	60.04 ± 5.04	28.50 ± 21.24	28.22 ± 21.20	30.23 ± 2.34

Note: The values are presented as Mean ± Standard Deviation.

Discussion

This study investigated the role of working memory in the effectiveness of errorless practice protocols for promoting implicit motor learning in adolescents, both with and without intellectual disabilities. The results showed that participants practicing under errorless conditions performed better during the acquisition phase and had lower working memory engagement compared to those under errorful conditions. This supports previous findings that organizing practice from a "near-to-far" sequence aligns with the requirements for errorless learning and enhances implicit motor learning.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

Dual-task performance assessments revealed that both typically developing and intellectually disabled adolescents performed better under errorless conditions. This aligns with Adams' closed-loop theory, which suggests that minimizing errors during practice helps prevent the reinforcement of incorrect perceptual traces, thus facilitating learning (3). Although Schmidt's schema theory (4, 5) predicts similar transfer performance across groups given similar practice variability, the study's results did not support this theory. It appears that fewer errors during acquisition reduced trial-and-error learning and working memory load, particularly benefiting those in the errorless group.

Using a dual-task method to increase cognitive pressure, the study found that participants in the errorless group made fewer errors and had better dual-task performance, suggesting more efficient use of working memory. These findings are consistent with reinvestment theory, which posits that errorless practice encourages implicit learning processes, leading to performance stability under cognitive pressure and better resistance to forgetting. Notably, there were no significant differences in the benefits of errorless practice between the typically developing and intellectually disabled groups, suggesting that implicit learning processes are not dependent on cognitive abilities.

The results also align with the Challenge Point Framework (6), indicating that an optimal level of error, considering the learner's skill and cognitive capacity, enhances learning. The errorless groups outperformed the errorful groups in transfer tests under dual-task conditions. Discrepancies with previous studies, like those by Sunley and Lee, may be due to differences in task type (gross vs. fine motor skills).

Conclusion

In conclusion, the findings support the use of errorless practice protocols for facilitating implicit motor learning in both typically developing and intellectually disabled adolescents. Future research should explore the effects of errorless protocols across different types of motor tasks and consider varying levels of feedback and instructional guidance to further understand their impact on motor learning strategies.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

References

1. Fitts PM, Posner MI. Human Performance. Oxford, England: Cole/Brooks; 1967.
2. Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 6th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2018.
3. Adams JA. A closed-loop theory of motor learning. J. Mot. Behav. 1971;3:111-50.
4. Schmidt RA. Motor Schema Theory After 27 Years: Reflections and Implications for a New Theory. RQES. 2003;74(4):366-75.
5. Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. Psychol. Rev. 1975;82(4):225-60.
6.Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. J. Mot. Behav. 2004;36(2):212-24.
7. Masters R, Maxwell J. The theory of reinvestment. Int. Rev. Sport Exerc. 2008;1(2):160-83.
8.Westendorp M, Houwen S, Hartman E, Visscher C. Are gross motor skills and sports participation related in children with intellectual disabilities? Dev. Disabil. Res. 2011;32(3):1147-53.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

مقدمه

بسیاری از متخصصان یادگیری حرکتی بر این باورند که یادگیرندگان در طی فرآیند اکتساب یک مهارت حرکتی از مراحل نسبتاً متمایزی عبور می‌کنند (۱، ۲). تقریباً تمامی مدل‌های شناختی ارائه‌شده برای تبیین این مراحل، از جمله مدل فیتز و پوزنر (۲)، توافق دارند که مراحل اولیه یادگیری عمدتاً ماهیت شناختی دارند. در این مرحله، یادگیرنده تلاش می‌کند با استفاده از آزمون و خطا به درک اولیه‌ای از حرکت مورد نظر دست یابد. بر اساس این مدل، یادگیرنده به‌تدریج به مرحله‌ای می‌رسد که عملکرد او خودکار می‌شود؛ به این معنا که توانایی انجام هم‌زمان یک مهارت حرکتی خودکارشده با یک تکلیف ثانویه را پیدا می‌کند. این تکامل تدریجی از یادگیری شناختی به خودکارسازی، نشان‌دهنده تغییر در نوع پردازش اطلاعات و توجه مورد نیاز برای اجرای مهارت است، به‌طوری که در مراحل پیشرفته‌تر، یادگیرنده می‌تواند با کاهش نیاز به توجه آگاهانه، مهارت را به‌صورت بهینه و بدون وقفه انجام دهد (۳).

افراد دارای کم‌توانی ذهنی در پردازش اطلاعات حرکتی پیچیده و یادگیری مهارت‌های جدید با چالش‌هایی مواجه هستند (٤). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این افراد در مقایسه با همتایان عادی خود محدودیت‌هایی در یادگیری مهارت‌های حرکتی دارند (٥). کودکان کم‌توان ذهنی نیز نسبت به همسالان خود کمتر در فعالیت‌های جسمانی مشارکت می‌کنند . از آنجا که مشارکت اجتماعی به‌طور کلی و فعالیت‌های ورزشی به‌طور خاص، نیازمند تسلط بر مهارت‌های جسمانی است، این مسئله می‌تواند بر تعاملات اجتماعی و کیفیت زندگی این افراد تأثیر منفی بگذارد (٦). یکی از مشکلات اصلی افراد کم‌توان ذهنی، ضعف در حافظه کاری است؛ این ضعف باعث می‌شود که در مراحل اولیه یادگیری، به‌ویژه در مواجهه با چالش‌های شناختی پیچیده، با مشکلات بیشتری روبرو شوند (۷–۹). این نکات نشان‌دهنده اهمیت توجه به روش‌های آموزشی و تمرینی مناسب برای ارتقای مهارت‌های حرکتی و بهبود حافظه کاری در این افراد است.

در نظریه‌های یادگیری حرکتی، مانند نظریه حلقه بسته آدامز (۱) و نظریه طرح‌واره اشمیت (۱۰، ۱۱) تأکید زیادی بر نقش خطاها در فرآیند یادگیری وجود دارد. همچنین، چارچوب «نقطه چالش» (۱۲) نشان می‌دهد که میزان مشخصی از خطا، متناسب با سطح مهارت و توانایی پردازش فرد، می‌تواند به بهبود یادگیری کمک کند. به‌علاوه، نظریه بازگماری نیز پیش‌بینی می‌کند که در نبود خطا در تمرین، فرصت آزمون و خطا کاهش یافته و در نتیجه، درگیری حافظه کاری کمتر شده و یادگیری حرکتی ضمنی تسهیل می‌شود.

بر اساس نظریه حلقه بسته آدامز، تمامی حرکات از طریق مقایسه بازخورد دریافتی از اندام‌ها با یک "رد ادراکی" ایجاد می‌شوند. هنگام انجام یک حرکت موقعیت‌یابی، بازخورد درونی‌ای تولید می‌شود که مکان دقیق اندام‌ها را در فضا نشان می‌دهد. این بازخوردها در سیستم عصبی مرکزی ردی به جا می‌گذارند. طبق این نظریه، خطاهای رخ‌داده در طول تمرین، رد ادراکی صحیح را تضعیف می‌کنند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی تمرین به‌نحوی‌که خطاها کاهش یابند، به تحکیم رد ادراکی و بهبود یادگیری منجر می‌شود (۱).

نظریه طرح‌واره اشمیت بر وجود دو نوع حافظه یا طرح‌واره تأکید دارد: «طرح‌واره یادآوری» که مسئول تولید عمل است و «طرح‌واره بازشناسی» که مسئول ارزیابی حرکت است. طرح‌واره‌های حرکتی به‌عنوان قوانین

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

انتزاعی از طریق ارتباط بین منابع اطلاعاتی و این دو طرح‌واره شکل می‌گیرند. طبق این نظریه، خطاها در حین انجام حرکت به تقویت بهتر طرح‌واره‌های حرکتی کمک می‌کنند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی تمرینی که در آن خطاها مجاز باشند، می‌تواند به بهبود یادگیری فرد منجر شود (۱۰، ۱۱).

چارچوب نقطه چالش (۱۲) بر نقش تلاش شناختی یادگیرنده، دشواری تکلیف و تأثیرات آن‌ها بر یادگیری حرکتی تمرکز دارد. این مدل بیان می‌کند که وقتی تکالیف با دشواری اسمی مشخص توسط فردی با سطح خاصی از مهارت اجرا می‌شوند، دشواری کارکردی تکلیف به‌طور نسبی تعیین می‌گردد. افزایش دشواری کارکردی منجر به دسترسی بیشتر به اطلاعات درونی می‌شود، اما تنها در محدوده‌ای که این اطلاعات قابل تفسیر هستند. این محدوده تحت کنترل قابلیت‌های پردازش اطلاعات فرد قرار دارد که با تمرین بهبود می‌یابند. بنابراین، این چارچوب معتقد است که مقدار متناسبی از خطا، متناسب با سطح مهارت فرد، می‌تواند برای یادگیری مفید باشد (۱۲).

نظریه بازگماری (۱۳، ۱٤) بیان می‌کند که فرآیندهای آشکار متکی به حافظه کاری برای دست‌کاری و ذخیره اطلاعات هستند. در این رویکرد، حافظه کاری نه‌تنها منبع دانش است، بلکه واسطه‌ای برای کنترل توجه و نظارت شناختی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، فرآیندهای ضمنی، که آگاهی کمتری را می‌طلبند، به‌طور ناخودآگاه صورت می‌گیرند و انتقال آن‌ها به دیگران دشوار است. مسترز و مکسول پنج معیار برای یادگیری ضمنی ارائه دادند، از جمله عدم اطلاعات کلامی درباره تکلیف، مقاومت در برابر تداخل حرکتی ناشی از استرس، و عدم نیاز به حافظه کاری. آن‌ها معتقدند که یادگیری با خطای کمتر، به یادگیری ضمنی کمک می‌کند و مهارت‌های حرکتی را تحت شرایط استرس‌زا و تکالیف دوگانه تقویت می‌کند.

مسترز (۱٤) اولین کسی بود که برای کاهش بار قوانین و راهبردها، استفاده از روش تکلیف دوگانه را در یک تکلیف حرکتی پیشنهاد کرد. هاردی و همکاران جونز (۱۵) و همچنین برایت و فریدمن (۱٦) از این پروتکل استفاده کردند. بااین‌حال، دو محدودیت در استفاده از تکلیف دوگانه در مرحله اکتساب وجود دارد: (۱) وقتی‌که از تکلیف دوگانه در مرحله اکتساب استفاده می‌شود، عملکرد در مرحله اکتساب دچار اختلال می‌گردد و احتمالاً باعث عدم تسهیل یادگیری نسبت به روش‌های سنتی می‌شود؛(۲) استفاده از یک تکلیف شناختی هنگام یادگیری تکلیف اصلی در مرحله اکتساب، در زمینه‌های کاربردی، غیرعملی به نظر می‌رسد.

به‌منظور رفع این محدودیت‌ها، مکسول و همکاران (۱۷) یک پروتکل جایگزین به نام «یادگیری بدون‌خطا» معرفی کردند که به حداقل رساندن خطا در مراحل ابتدایی تمرین اشاره دارد، بدون اینکه به‌طور کامل از خطا جلوگیری کند. این رویکرد به‌عنوان یک راهبرد نوین در برنامه‌های یادگیری حرکتی ضمنی، سبب می‌شود تا افراد مهارت‌های حرکتی را مستقل از سازوکارهای شناختی پیچیده و بدون نیاز به حافظه کاری فراگیرند. نتایج تحقیقات مکسول و همکاران (۱۸) با استفاده از تمرین گلف نشان داد که پروتکل تمرینی کم خطا (تمرین پات گلف از فواصل نزدیک به دور) در مقایسه با پروتکل پر خطا (تمرین پات گلف از فواصل دور به نزدیک)، منجر به فعال‌سازی فرایندهای یادگیری حرکتی ضمنی (پنهان) می‌شود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

تحقیقات متعددی به بررسی تأثیر دستکاری فاصله هدف‌گیری در بزرگسالان پرداخته و مزایای برنامه‌های تمرین کم خطا را در مقایسه با تمرین‌های پر خطا به اثبات رسانده‌اند [برای مرور کال و همکاران (۱۹) یا مسترز و همکاران (۲۰) را مطالعه کنید]. بااین‌حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که دستکاری فاصله تا هدف [سانلی و لی (۲۱) آزمایش دوم؛ سانلی و لی (۲۲)] و اندازهٔ هدف [سانلی و لی (۲۱) آزمایش اول] نمی‌تواند همیشه به مزایای یادگیری حرکتی ضمنی منجر شود. همچنین، تحقیقات دیگری اثربخشی پروتکل‌های تمرین کم خطا را در کودکان و نوجوانان سالم بررسی کرده‌اند. به‌عنوان مثال، صالحی و همکاران (۲۳) نشان دادند کودکانی که یک مهارت حرکتی بنیادی (پرتاب کیسه‌های نخود) را در محیط کم خطا (با تغییر فاصله تا هدف به‌صورت نزدیک به دور) تمرین کردند، شایستگی حرکتی بیشتری کسب کردند و دقت پرتاب‌های خود را هنگام انجام یک تکلیف ثانویه (شمارش معکوس اعداد) حفظ نمودند. در مقابل، کودکانی که در شرایط پر خطا (تغییر فاصله از دور به نزدیک) تمرین کردند، با کاهش دقت پرتاب‌ها همزمان با اجرای تکلیف ثانویه مواجه شدند.

مطالعات نشان داده‌اند که مشکل در اجرای تکالیف حرکتی نسبتاً پیچیده در کودکان کم‌توان ذهنی، ممکن است با محدودیت‌های پردازش شناختی آن‌ها مرتبط باشد (٦). حافظه کاری این کودکان و نوجوانان به‌طور قابل‌توجهی محدودتر از همتایان سالم آن‌ها است و ممکن است در موقعیت‌های پیچیده به‌اندازه کافی کارا نباشد (۹، ٢٤). با توجه به اتکای کمتر رویکرد یادگیری کم خطا به منابع پردازش شناختی، به نظر می‌رسد این روش بتواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود مهارت‌های حرکتی در کودکان و نوجوانان کم‌توان ذهنی مورد استفاده قرار گیرد. ون آبسود و همکاران (۲۵) با دستکاری پهنای هدف، تأثیر دو پروتکل تمرین کم خطا و پر خطا را در نوجوانان مبتلا به فلج مغزی بررسی کردند. این افراد معمولاً کاستی‌هایی در حافظه کاری و ضریب هوشی دارند. نتایج نشان داد که تنها نوجوانانی که حافظه کاری خوبی داشتند و عملکرد اولیه ضعیفی نشان داده بودند، بهبودی ابتدایی در یادگیری آشکار نشان دادند. در مقابل، ناصری و همکاران (٢٦) با دستکاری دشواری اسمی و کارکردی در تکلیف پاس سینه بسکتبال، موفق به نشان دادن اثر این دستکاری‌ها بر یادگیری ضمنی در کودکان کم‌توان ذهنی نشدند.

تحقیقات نشان داده‌اند که مداخلات متمرکز بر مهارت‌های کنترل شیء، هماهنگی حرکتی، و آماده‌سازی ذهنی می‌توانند عملکرد کودکان کم‌توان ذهنی را بهبود بخشد (۲۷). کودکان و نوجوانان کم‌توان ذهنی در مهارت‌های کنترل شیء با چالش‌های بیشتری نسبت به مهارت‌های جابه‌جایی مواجه هستند، چراکه این مهارت‌ها نیاز بیشتری به فرآیندهای شناختی دارند (۲۸). علاوه بر این، پرتاب به‌عنوان یکی از عوامل پیش‌بینی‌کننده مهم مشارکت در فعالیت‌های ورزشی در کلاس‌های تربیت‌بدنی محسوب می‌شود (۲۹).

این تحقیق با هدف بررسی امکان استفاده از برنامه تمرینی کم خطا در زمینه تربیت‌بدنی تطبیقی برای نوجوانان کم‌توان ذهنی و همتایان سالم آن‌ها انجام شد. در این مطالعه، با دست‌کاری فاصله تا هدف، دو شرایط تمرینی ایجاد شد: آرایش تمرین پاس برای هدف‌گیری نزدیک به‌دور (کم خطا) و دور به نزدیک (پر خطا). پیش‌بینی شد که در یادگیری مهارت ملاک، برنامه تمرین کم خطا باعث شکل‌گیری بهتر یادگیری ضمنی، مقاومت بیشتر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

در برابر فراموشی، و کاهش اتکا به حافظه کاری در مقایسه با برنامه تمرین پر خطا شود. برای آزمون این فرضیه، عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمون‌های تکلیف دوگانه و ارزیابی میزان درگیری حافظه کاری در هر دو شرایط تمرینی مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی

راهبرد پژوهشی این تحقیق کمی از نوع آزمایشی و طرح آن عاملی آمیخته بود. دو عامل بین آزمودنی‌ها شامل گروه‌هایی از نوجوانان سالم و کم‌توان ذهنی و پروتکل‌های تمرین کم خطا و پر خطا بود. در مرحله اکتساب عامل درون آزمودنی‌ها بلوک‌های تمرین و در مرحله آزمون زمان اخذ اجرای آزمون‌های تکلیف دوگانه عامل‌های درون آزمودنی‌ها بود. در طرح تحقیق عملکرد هدف‌گیری و نمرات کسب شده در آزمون حافظه کاری متغیرهای وابسته بودند.

شـــرکـــت‌کننـــدگان

شرکت‌کنندگان ۲۰ پسر کم‌توان ذهنی و ۲۰ پسر عادی (میانگین سن = ۱۲٫۱۲±۰٫۸۰ سال) بودند که به‌صورت داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند. هوش‌بهر کم‌توان‌های ذهنی بین ۵۵ تا ۷۰ بود و از نظر شنوایی و کارکرد اندام بالاتنه سالم بودند. کودکان دارای چند معلولیت از تحقیق کنار گذاشته شدند. دو گروه براساس هوش‌بهر در دو گروه تمرین کم خطا و پر خطا جایگزین شدند. رضایت‌نامه شرکت در تحقیق از والدین شرکت‌کنندگان اخذ شد. شرکت‌کنندگان هیچ تجربه قبلی با تکلیف مورد استفاده در آزمایش نداشتند و از اهداف ویژه تحقیق نیز مطلع نبودند.

تکلیـــف تمرینی و ابزارها

تکلیف تمرینی یک مهارت حرکتی درشت شامل هدف‌گیری با توپ مینی‌بسکتبال از فواصل مختلف به سمت صفحه هدف به روش پاس سینه‌ای بسکتبال بود. هدف شامل دایره‌های هم مرکز با شعاع‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر در اطراف منطقه هدف بود که روی دیوار، متناسب با قد شرکت‌کننده نصب شد (شکل ۱).

برای ارزیابی درگیری حافظه کاری در طول تمرین، پیش‌وپس از مرحله اکتساب المان‌هایی شامل اشکال هندسی و تصاویر گل و حیوانات به شرکت‌کنندگان نشان داده شد و از آنها درخواست شد تعداد المان‌های مشابه را مشخص کنند.

پروتکل‌های تمرین و روش اجـــرا

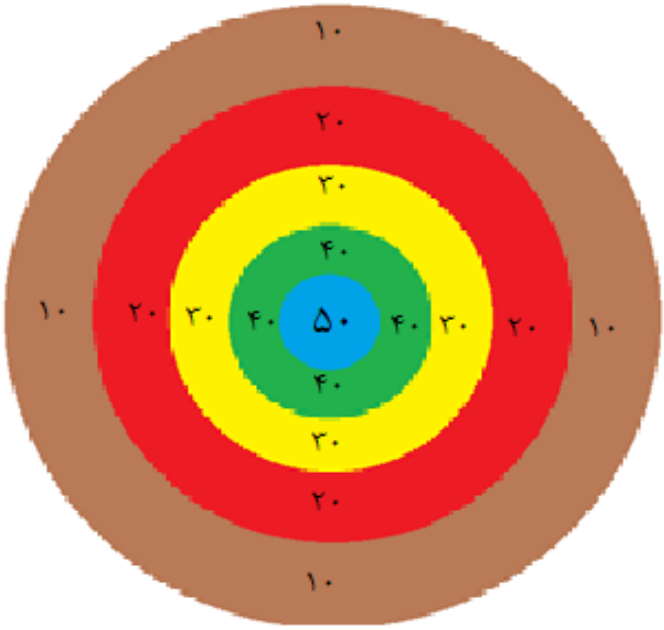
تمرین شامل پرتاب توپ از فاصله‌های ۳، ۳٫۲۵، ۳٫۵ و ۳٫۷۵ متری بود. دو تغییرپذیری در فاصله تمرین تکلیف در طول بلوک‌های تمرین اعمال شد: تمرین از فواصل نزدیک به‌دور و تمرین از فواصل دور به نزدیک.

شرکت‌کنندگان گروه‌های پروتکل کم خطا (تمرین از فواصل نزدیک به‌دور)، تمرین هدف‌گیری را از نزدیک‌ترین فاصله شروع کردند و به‌صورت پیش‌رونده در آخرین بلوک به دورترین فاصله از هدف می‌رسید.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

شرکت‌کنندگان در این گروه، به ترتیب ۱۰ کوشش از فاصله ۳ متری، ۱۰ کوشش از فاصله ۳,۲۵ متری، ۱۰ کوشش از فاصله ۳,۵متری و ۱۰ کوشش از فاصله ۳,۷۵ متری اجرا نمودند. شرکت‌کنندگان گروه‌های پروتکل پر خطا (تمرین از فواصل دور به نزدیک) با ترتیب برعکس یعنی از دورترین فاصله به نزدیک‌ترین فاصله تمرین کردند.



شکل ۱. دایره‌های هم‌مرکز و امتیاز هر منطقه در تکلیف هدف‌گیری

شرکت‌کنندگان پنج بلوک ٤٠ کوششی (هر فاصله ۱۰ کوشش تمرینی و در کل ۲۰۰ کوشش) را در یک جلسه تمرین کردند. آزمون‌های تکلیف دوگانه شامل اجرای تکلیف هدف‌گیری از فاصله ٤ متری به تعداد ۷۵ کوشش (۲۵ کوشش برای آزمون‌های فوری، تأخیری ٢٤ ساعته و تأخیری یک‌هفته‌ای) بود. در آزمون تکلیف دوگانه همزمان با آزمون تکلیف اصلی هدف‌گیری، از تکلیف ثانویه شناختی، شامل شمارش اعداد زوج روبه‌جلو همزمان با شنیدن ضرب‌آهنگ‌های یک ثانیه‌ای یک مترونوم، استفاده شد.

روش‌های آماری

برای تحلیل داده‌های دقت عملکرد در مرحله اکتساب از تحلیل واریانس[1] مخلوط ۲(گروه: کودکان با و بدون کم‌توانی ذهنی) × ۲(نوع تمرین: کم خطا و پر خطا) × ۵ (بلوک‌های تمرین ٤٠ کوششی) با عامل تکرار روی عامل آخر استفاده شد. برای آزمون تکلیف دوگانه از طرح تحلیل واریانس مخلوط ۲(گروه: کودکان با و بدون کم‌توانی ذهنی) × ۲(پروتکل تمرین: کم خطا و پر خطا) × ۳(زمان اجرای آزمون: فوری، تأخیری ٢٤ ساعته و یک‌هفته‌ای) با عامل تکرار روی عامل آخر استفاده شد. برای تعیین میزان درگیری حافظه کاری در طول تمرین از تحلیل واریانس دوراهه ۲(گروه: کودکان با و بدون کم‌توانی ذهنی) × ۲(پروتکل تمرین: کم خطا و

1. Analyze of Variance (ANOVA)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

پر خطا) استفاده شد. برای مقایسه‌های چندگانه از روش توکی استفاده شد. از مجذور ایتا سهمی به عنوان شاخص اندازه اثر استفاده شد. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

ویژگی‌های گروه‌های آزمایشی و پروتکل‌های تمرین به همراه متغیرهای اندازه‌گیری شده در طرح تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. متغیرهای اندازه‌گیری شده در طرح تحقیق برای دو گروه از نوجوانان کم‌توان ذهنی و همسالان سالم که با دو پروتکل پر خطا و کم خطا تکلیف هدف‌گیری را تمرین کردند و در آزمون‌های هوش‌بهر، حافظه کاری و تکلیف دوگانه شرکت کردند ($N = 40$)

پروتکل				تکلیف دوگانه		
تمرین	سن (سال)	هوش‌بهر	حافظه کاری	فوری	تأخیر ۲۴ ساعته	تأخیر یک هفته
کم‌توانان ذهنی						
کم خطا	۱۲/۳۲ ± ۰/۸۱	۱۱/۶۵ ± ۳/۳۰	۲۵/۰۱ ± ۹/۳۰	۳۴/۸۰ ± ۲/۸۰	۳۶/۴۴ ± ۱/۵۴	۳۶/۵۴ ± ۱/۸۳
پر خطا	۲۳/۱۲ ± ۰/۸۴	۶۵/۱۴ ± ۲/۱۱	۲۳/۰۳ ± ۶/۳۲	۲۷/۳۰ ± ۲/۱۰	۲۶/۵۱ ± ۲/۱۰	۲۴/۴۴ ± ۲/۲۴
همسالان سالم						
کم خطا	۱۲/۱۳ ± ۰/۹۱	۱۰۶/۱۲ ± ۱۴/۱۴	۵۹/۰۱ ± ۸/۴۴	۳۶/۳۶ ± ۲/۲۳	۳۷/۰۴ ± ۲/۷۲	۳۷/۵۴ ± ۲/۴۴
پر خطا	۱۲/۴۵ ± ۰/۹۰	۱۰۷/±۰۱ ۱۳/۰۳	۶۰/۰۴ ± ۵/۰۴	۲۸/۵۰ ± ۲۱/۲۴	۲۸/۲۲ ± ۲۱/۲	۳۰/۲۳ ± ۲/۳۴

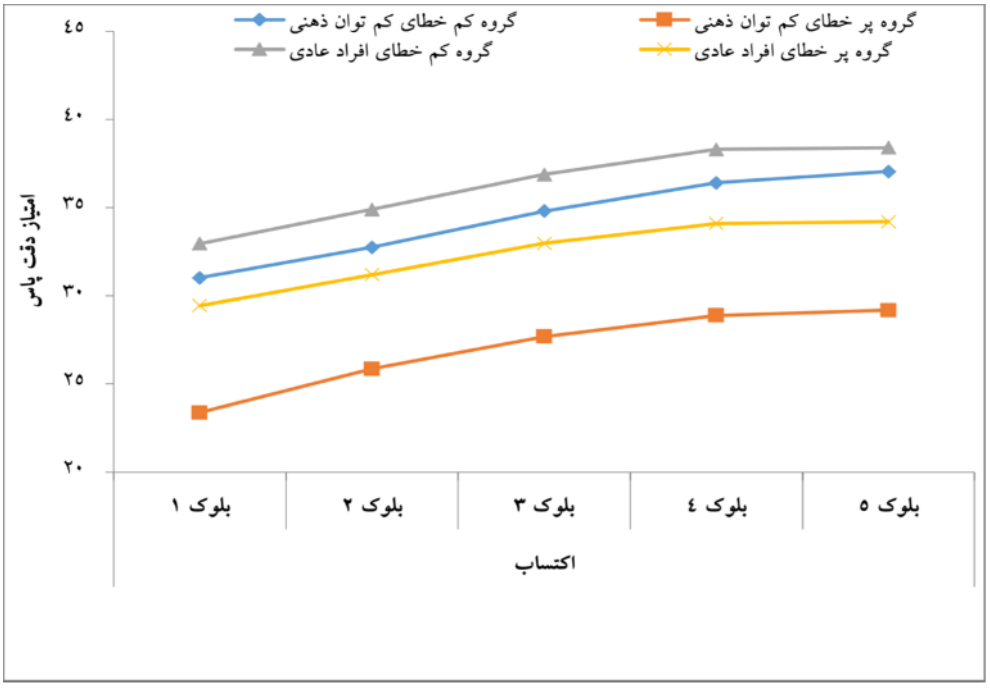
توضیح: مقادیر به‌صورت میانگین ± انحراف استاندارد نشان داده شده‌اند.

نتایج تحلیل واریانس برای مرحله اکتساب نشان داد که اثر تعاملی سه‌گانه معنادار است $F(1, 36) = 7.44$, $p < .03$, $\eta_p^2 = .17$. مقایسه‌های چندگانه توکی نشان داد که در کل مرحله اکتساب، گروه عملکرد کودکان عادی گروه کم خطا ($M = 36.84$, $SD = 2.45$) بهتر از گروه پر خطا ($M = 28.99$, $SD = 2.13$) بود ($p < .05$)؛ در گروه کم‌توان ذهنی نیز عملکرد گروه کم خطا ($M = 36.04$, $SD = 2.00$) بهتر از گروه پر خطا ($M = 24.93$, $SD = 2.14$) بود ($p < .05$). عملکرد گروه‌های تمرینی کم خطا و پر خطا در مرحله اکتساب در شکل ۲ رسم شده است.

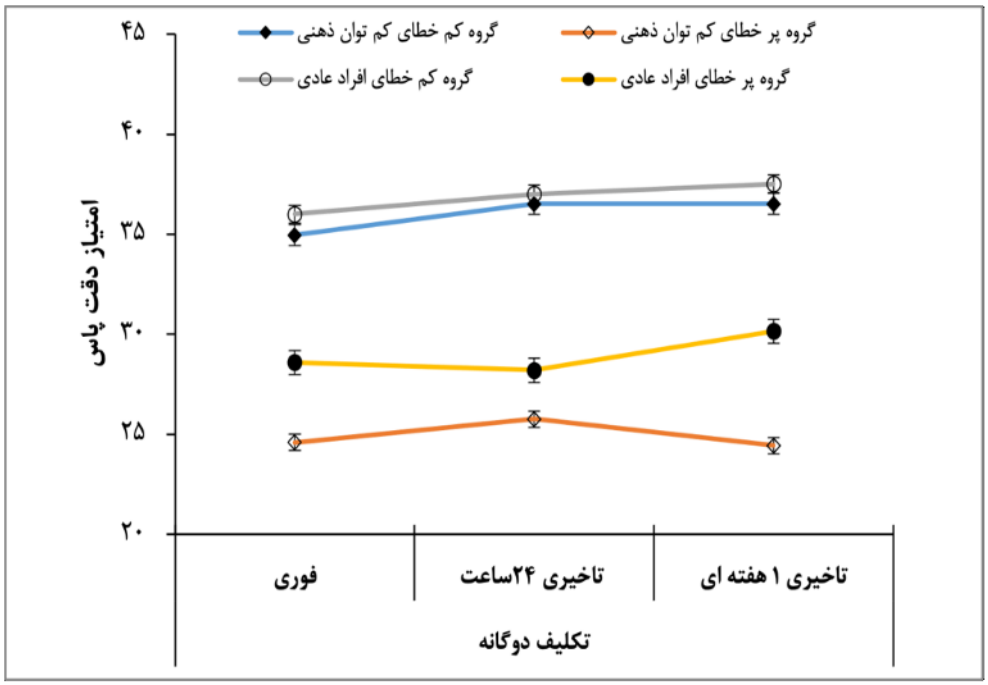
عملکرد گروه‌های تمرینی کم خطا و پر خطا برای افراد عادی و کم‌توان ذهنی در آزمون‌های تکلیف دوگانه در شکل ۳ ارائه و در جدول ۱ خلاصه شده است. در تحلیل واریانس اثر تعاملی سه‌گانه معنادار شد $F(1, 36) = 7.44$, $p < .03$, $\eta_p^2 = .17$. مقایسه‌های چندگانه توکی نشان داد در گروه کودکان عادی عملکرد گروه کم خطا بهتر از گروه پر خطا بوده است ($p < .05$)؛ در گروه کم‌توان ذهنی نیز عملکرد گروه کم خطا بهتر از گروه پر خطا بود ($p < .05$).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]



شکل ۲. عملکرد دقت پاس گروه‌های طرح تحقیق در بلوک‌های تمرینی مرحله اکتساب



شکل ۳. امتیاز دقت پاس گروه‌ها در آزمون‌های تکلیف دوگانه. خطاهای میله‌ای خطای استاندارد (SE) هستند.

در بررسی میزان درگیری حافظه کاری در طول تمرین (جدول ۱)، نتایج نشان داد اثر تعاملی گروه و نوع پروتکل تمرین معنادار است $F(1, 36) = 11.64, p < .01, \eta_p^2 = .24$. مقایسه‌های چندگانه توکی نشان داد در آزمون حافظه کاری، عملکرد کودکان سالم در گروه کم خطا بهتر از گروه پر خطا بود ($p < .01$). همچنین، در کودکان کم‌توان ذهنی عملکرد در آزمون حافظه کاری برای گروه کم خطا بهتر از گروه پر خطا بود ($p < .01$).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی پروتکل‌های تمرین کم خطا در تسهیل یادگیری حرکتی ضمنی در نوجوانان با و بدون کم‌توانی ذهنی انجام شد. همچنین، میزان ماندگاری تغییرات حاصل از تمرین و نقش حافظه کاری در حین تمرین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو گروه نوجوانان کم‌توان ذهنی و همسالان سالمی که با پروتکل کم خطا تمرین کرده بودند، در مرحله اکتساب عملکرد بهتری داشتند و در عین حال حافظه کاری کمتری درگیر شد. در آزمون‌های تکلیف دوگانه، عملکرد هر دو گروه تحت شرایط تمرین کم خطا نسبت به شرایط پر خطا بهبود یافت، که نشانگر مقاومت پروتکل کم خطا نسبت به فراموشی است. این یافته‌ها با پیش‌بینی‌های نظریه‌هایی نظیر نظریه حلقه بسته آدامز (۱) و بویژه نظریه بازگماری (۱۳، ۱٤) مطابقت دارد، که تأکید می‌کنند کاهش خطا در حین تمرین، می‌تواند موجب وابستگی کمتر به منابع حافظه کاری، تسهیل یادگیری پنهان و مقاومت بیش‌تر در برابر شرایط فشار شناختی شود.

نتایج این پژوهش با پیش‌بینی‌های ساختار نقطه چالش (۱۲) مبنی بر این‌که وجود مقداری خطا با توجه به سطح مهارت یادگیرنده و ظرفیت پردازش فرد برای یادگیری مفید است، نیز همخوانی دارد. نتایج آزمون انتقال در شرایط تکلیف دوگانه نشان داد که گروه‌های کم خطا نسبت به گروه‌های پر خطا هم در افراد عادی و هم در افراد کم‌توان ذهنی بهتر عمل کرد. پولتون و همکاران (۳۰) بر این باورند که بیشترین اثربخشی یادگیری کم خطا هنگامی دیده می‌شود که شرایط تمرین کم خطا به‌ویژه در آغاز تمرین فراهم شود. هر دو گروه شرایط تمرین از فواصل نزدیک را تجربه کردند، با این تفاوت که گروه نزدیک به دور در مراحل آغازین اکتساب با این شرایط روبرو شده‌اند، ولی گروه دور به نزدیک این شرایط را در مراحل پایانی اکتساب تجربه کرده‌اند. نظریه آدامز (۱) پیش‌بینی خاصی در خصوص آزمون انتقال در شرایط تکلیف دوگانه ارائه نمی‌کند. بااین‌حال، براساس نظریه آدامز، خطای کمتر در مرحله اکتساب برای یادگیری مفید است، لذا نتایج این پژوهش با این پیش بینی نظریه آدامز همخوانی دارد.

بااین‌حال، نتایج آزمون انتقال با پیش‌بینی‌های نظریه طرح‌واره اشمیت (۱۰) سازگار نبود، که انتظار دارد عملکرد گروه‌ها پس از مرحله اکتساب مشابه باشد. این اختلاف را می‌توان به نوع یادگیری در گروه‌های مختلف نسبت داد؛ به‌عبارت‌دیگر، خطای کمتر در مرحله اکتساب ممکن است باعث کاهش بار پردازشی حافظه کاری و افزایش یادگیری ضمنی شده باشد (۱۸، ۳۰، ۳۱).

شاید بتوان نتایج را با توسل به نظریه بازگماری و یادگیری ضمنی تبیین کرد. به عبارتی در گروه‌های کم خطا باتوجه‌به خطای خیلی کمتر، یادگیری ضمنی بیشتری رخ‌داده است. یافته‌ها با پیش‌بینی‌های نظریه بازگماری (۱۳، ۱٤) همخوانی کامل دارد. این نظریه بیان می‌کند تمرین کم خطا منجر به یک حالت غیرفعال یادگیری می‌شود که سهم فرایندهای ضمنی را افزایش می‌دهد که نتیجه آن مقاومت عملکرد در برابر شرایط فشار یا تکلیف دوگانه است. به نظر می‌رسد بهترین تبیین ارائه‌شده درزمینه الگوی یافته‌ها در این نظریه پیش‌بینی شده

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

است. یافته‌های این پژوهش نشان که گروه کم خطای افراد عادی و افراد کم‌توان ذهنی تفاوتی نداشتند. این یافته را می‌توان به‌عنوان تأییدی بر ادعای استقلال یادگیری ضمنی از هوش تلقی کرد.

یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات پیشین نظیر پژوهش‌های مکسول و پولتون (۱۸، ۳۰، ۳۱) که نشان‌دهنده اثربخشی تمرین کم خطا در مهارت‌های حرکتی درشت است، همخوانی دارد. در مقابل، یافته‌های ما با مطالعاتی نظیر سانلی و لی (۲۱) که تکالیف حرکتی ظریف را بررسی کرده‌اند، مطابقت نداشت. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از نوع تکلیف (مهارتی درشت در برابر ظریف) باشد، زیرا تکالیف ظریف نیازمند توجه و دقت بیشتری هستند و یادگیری ضمنی در این موارد دشوارتر است.

بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از پروتکل‌های تمرین کم خطا در محیط‌های آموزشی و تربیت‌بدنی تطبیقی برای تسهیل یادگیری حرکتی ضمنی در تکالیف حرکتی درشت برای کودکان کم‌توان ذهنی و سالم پیشنهاد می‌شود. تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی اثرات تمرین کم خطا با تغییر پارامترهایی مانند نوع تکلیف (بسته در مقابل باز، یا مهارت‌های حرکتی درشت در برابر ظریف) بپردازند. همچنین، روش‌هایی مانند کاهش بازخورد یا دستورالعمل‌های آموزشی برای تسهیل یادگیری ضمنی می‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند.

در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که هیچ نظریه واحدی قادر به تبیین کامل یافته‌های مشاهده‌شده در مرحله اکتساب و آزمون‌های تکلیف دوگانه نیست. اما ترکیبی از چندین نظریه و چارچوب نظری می‌تواند به درک بهتری از مکانیسم‌های مؤثر در یادگیری حرکتی و اثربخشی پروتکل‌های تمرین کم خطا منجر شود. این رویکرد چندگانه می‌تواند راهگشای طراحی مداخلات آموزشی و توان‌بخشی مؤثر برای گروه‌های مختلف باشد.

References

1. Adams JA. A closed-loop theory of motor learning. Journal of Motor Behavior. 1971;3:111-50.
2. Fitts PM, Posner MI. Human performance. Oxford, England: Cole/Brooks; 1967.
3. Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN. Motor learning concepts an research methods. In: Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN, editors. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 6 ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2018. p. 283-302.
4. Elliott D, Bunn L. Motor disorders in children with intellectual disabilities. In: Dewey D, Tupper DE, editors. Developmental motor disorders: A neuropsychological perspective. New York London: THE GUILFORD PRESS; 2004. p. 137-51.
5. Vuijk PJ, Hartman E, Scherder E, Visscher C. Motor performance of children with mild intellectual disability and borderline intellectual functioning. Journal of intellectual disability research. 2010;54(11):955-65.
6. Westendorp M, Houwen S, Hartman E, Visscher C. Are gross motor skills and sports participation related in children with intellectual disabilities? Research in Developmental Disabilities. 2011;32(3):1147-53.
7. Van der Molen M, Van Luit J, Van der Molen MW, Jongmans MJ. Everyday memory and working memory in adolescents with mild intellectual disability. American journal on intellectual and developmental disabilities. 2010;115(3):207-17.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

8. Van der Molen M, Van Luit J, Jongmans M, Van der Molen M. Verbal working memory in children with mild intellectual disabilities. Journal of Intellectual Disability Research. 2007;51(2):162-9.
9. Henry L. Short-term memory coding in children with intellectual disabilities. American journal on mental retardation. 2008;113(3):187-200.
10. Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological review. 1975;82(4):225-60.
11. Schmidt RA. The schema as a solution to some persistent problems in motor learning theory. Motor control: Issues and trends. 1976:41-65.
12. Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. Journal of Motor Behavior. 2004;36(2):212-24.
13. Masters, Maxwell. The theory of reinvestment. International Review of Sport and Exercise Psychology. 2008;1(2):160-83.
14. Masters RSW. Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. British Journal of Psychology. 1992;83(3):343-58.
15. Hardy L, Mullen R, Jones G. Knowledge and conscious control of motor actions under stress. British Journal of Psychology. 1996;87:621-36.
16. Bright JEH, Freedman O. Differences between implicit and explicit acquisition of a complex motor skill under pressure: An examination of some evidence. British Journal of Psychology. 1998;89(2):249-63.
17. Maxwell JP, Masters RSW, Kerr E, Weedon E. The implicit benefit of learning without errors. The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A. 2001;54(4):1049-68.
18. Maxwell JP, Masters RSW, Kerr E, Weedon E. The implicit benefit of learning without errors. The Quarterly Journal of Experimental Psychology A. 2001;54(4):1049-68.
19. Kal E, Prosee R, Winters M, van der Kamp J. Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. PLoS One. 2018;13(9):e0203591.
20. Masters RSW, Poolton JM. Advances in implicit motor learning. In: Hodges NJ, Williams AM, editors. Skill acquisition in sport: Research, theory and practice. 2 ed. London & New York: Routledge; 2012. p. 59-76.
21. Sanli EA, Lee TD. What roles do errors serve in motor skill learning? An examination of two theoretical predictions. Journal of motor behavior. 2014;46(5):329-37.
22. Sanli EA, Lee TD. Nominal and functional task difficulty in skill acquisition: Effects on performance in two tests of transfer. Human Movement Science. 2015;41:218-29.
23. Salehi H, Mehrvarz M, Rafaei M. Errorless practice for facilitate implicit motor learning in children. Journal of Development & Motor Learning. 2018;10(3):367-84 (In Persian).
24. Van der Molen MJ, Van Luit JEH, Van der Molen MW, Jongmans MJ. Everyday memory and working memory in adolescents with mild intellectual disability. American Journal on Intellectual and Develop- mental Disabilities. 2010;115:207-17.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]

25. van Abswoude F, Santos-Vieira B, van der Kamp J, Steenbergen B. The influence of errors during practice on motor learning in young individual with cerebral palsy. Research in Developmental Disabilities. 2015;45-46:353-64.
26. Naseri A, Bahram A, Salehi H, Daneshvar a. The effects of errorless practice on learning an aiming skill in mentally retarded adolescents. Journal of Motor Learning and Movement. 2019;11(3):295-310.
27. Hartman E, Houwen S, Scherder E, Visscher C. On the relationship between motor performance and executive functioning in children with intellectual disabilities. Journal of Intellectual Disability Research. 2010;54(5):468-77.
28. Planinsec J, Pisot R. Motor coordination and intelligence level in adolescents. Adolescence. 2006;41:667–76.
29. Barnett LM, Van Beurden E, Morgan PJ, Brooks LO, Beard JR. Childhood motor skill proficiency as a predictor of adolescent physical activity. ournal of adolescent health. 2009;44(3):252-9.
30. Poolton JM, Masters RSW, Maxwell JP. The relationship between initial errorless learning conditions and subsequent performance. Human Movement Science. 2005;24(3):362-78.
31. Poolton JM, Masters RSW, Maxwell JP. Passing thoughts on the evolutionary stability of implicit motor behaviour: Performance retention under physiological fatigue. Consciousness and Cognition. 2007;16(2):456-68.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1403.14.28.2.5]