



(DOI): 10.22059/japr.2020.298249.643445

## تأثیر آموزش زود هنگام بر عملکرد و یادداری تکلیف توالی حرکتی: شواهدی از دوره‌های حساس یادگیری حرکتی

### The Effect of Early Instruction on Performance and Retention of Motor Sequence Task: Evidence for Sensitive Period in Motor Learning

Sayed Kavos Salehi  
Aziz Moradi

سید کاوس صالحی\*  
عزیز مرادی\*\*

#### Abstract

The main purpose of this study was to investigate the effect of early instruction on performance and retention of motor sequence task. The research method was applied and quasi-experimental type. The statistical population included all students and staff of the Faculty of Science in Shahid Chamran University of Ahvaz in the second half of 2016 that among them, 36 right-handed subjects, aged 18 to 27 years, indicating healthy nervous system (lack of neurological diseases) were selected using purposeful and available sampling method. They were divided into three groups of 12 subjects, including the early training, late training, and control group. In this study, General Health Questionnaire (GHQ), Mini Mental State Examination (MMSE), General Index of Musical Training and Related Experience (GIMTRE), and Serial Reaction Time Task (SRTT) software were used to collect information and evaluate the samples. The intervention consisted of two phases (acquisition and retention) and 10 stages for response to sequential stimuli during which the results of the groups' performance were compared. Data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro-Wilk test, independent-t, mixed and one way ANOVA test. In the acquisition phase, for the two components of response time and accuracy, there was a significant difference in all the blocks between the groups and this difference was in favor of the early training group. In addition, in the retention test, the difference between the groups was evident, and the early training group responded to stimuli faster and more accurately than the late training and control groups. These findings support the idea that there may be a sensitive period during childhood in which enriching motor training through practice and experience can enhance motor performance in the next stages.

**Keywords:** Sensitive Period, Motor Learning, Motor Sequence

#### چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تأثیر آموزش زود هنگام بر عملکرد و یادداری تکلیف توالی حرکتی بود. پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر گردآوری داده‌ها، نیمه‌آزمایشی بود. جامعه آماری شامل کلیه دانشجویان و خدمه دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز در نیم سال دوم ۹۶-۹۵ بودند که از بین آن‌ها به روش نمونه‌گیری هدفمند و در دسترس، ۳۶ آزمودنی پسر راست دست، دامنه سنی ۱۸ تا ۲۷ سال، سالم از نظر سیستم عصبی (فاقد بیماری‌های نورولوژیک) انتخاب و در سه گروه ۱۲ نفری آموزش زود هنگام، دیر هنگام و گروه گمارده شدند. در این مطالعه، برای گردآوری اطلاعات و ارزیابی نمونه‌ها از پرسشنامه سلامت عمومی (GHQ)، آزمون مختصر وضعیت روانی- شناختی (MMSE)، مقیاس کلی ارزیابی تمرین و تجربه کار با موسیقی، رایانه و تایپ (GIMTRE) و نرم‌افزار تکلیف ارائه محرک‌های متوالی (SRTT) استفاده شد. در این پژوهش، کل مداخله شامل دو فاز (اکتساب و یادداری) و ۱۰ مرحله پاسخ بود که طی آن‌ها نتایج عملکرد گروه‌ها با هم مقایسه شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی، آزمون شاپیرو-ویلک، t همبسته و تحلیل واریانس دوراهه و یک‌راهه استفاده شد. در مرحله اکتساب، در دو مؤلفه زمان و دقت پاسخ، در تمام بلوک‌های حرکتی بین گروه‌های آزمودنی تفاوت معناداری وجود داشت و این تفاوت، به نفع گروه آموزش زود هنگام بوده است. در آزمون یادداری نیز، این تفاوت بین گروه‌ها مشهود بود و گروه آموزش زود هنگام سریع‌تر و دقیق‌تر از دیگر گروه‌ها به محرک‌ها پاسخ دادند. این یافته‌ها از احتمال نوعی دوره حساس در دوران کودکی و غنی‌تر کردن آموزش حرکتی از طریق تمرین و تجربه، جهت بهبود عملکرد حرکتی در مراحل بعدی زندگی حمایت می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** دوره حساس، یادگیری حرکتی، توالی حرکتی

\*نویسنده مسئول: استادیار گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران  
\*\*کارشناس ارشد رفتار حرکتی، دانشکده علوم انسانی، واحد جامع شوستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوستر، ایران

Email: Sk.salehi@yahoo.com

Received: 21 Feb 2020

Accepted: 13 Jun 2020

پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۴

دریافت: ۹۸/۱۲/۰۲

## مقدمه

در سال‌های اخیر نسبت به گذشته، والدین فرزندان‌شان را زودتر در برنامه‌های تربیتی نظیر شنا کردن، ژیمناستیک، موسیقی و آموزش خواندن و یادگیری زبان دوم درگیر می‌کنند. بسیاری از برنامه‌های ادراکی- حرکتی بر شروع آموزش هرچه زودتر تکالیف، به‌منظور توسعه مهارت‌های ادراکی- حرکتی تأکید دارند. صرف‌نظر از این‌که فرد باید رشد طبیعی خودش را داشته باشد، اعتقاد بر این است که تجربه‌هایی که ما در دوران کودکی در آن درگیر و مشارکت می‌کنیم، می‌تواند به‌خوبی تا سال‌های بزرگ‌سالی همراه ما باقی بماند (پاینه و ایساکس، ۲۰۱۷). یکی از موضوعات مهم و بنیادی- کاربردی در حوزه رشد و یادگیری حرکتی، پدیده دوره‌های حساس است. دوره حساس<sup>۱</sup> که گاهی دوره‌های بحرانی<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند، زمان‌های هستند که فرد در برابر محرک‌های محیطی حساسیت بیشتری دارد؛ به‌عبارتی تأثیر تجربه بر مغز در این زمان‌ها بیشتر است. برای مثال، برای یادگیری مهارت‌های حرکتی و شناختی نظیر راه رفتن و صحبت کردن دوره حساس وجود دارد. اگر فرد در دوره طفولیت با محرک‌های مربوط به مقدمات راه رفتن (۱ تا ۶ ماهگی) یا خندیدن (تولد تا ۶ ماهگی) مواجه شود، این رفتارها به‌صورت اتونوم و خودکار در وی ظاهر می‌شوند، ولی طفلی از این محرک‌ها محروم باشد ممکن است این رفتارها را تجربه نکند؛ چرا که دوره حساس برای ظهور آن‌ها سپری شده است. چنانچه در سال‌های بعد با محرک‌های مربوط به بروز رفتار مواجهه شود، ممکن است پدیده جبران صورت گیرد؛ اما کارایی رفتار ظاهر شده هرگز به اندازه رفتار ظاهر شده در دوره حساس سپری شده نخواهد بود (مک‌موریس، ۲۰۱۴). شواهد عصب‌روان‌شناختی در مورد دوره‌های بحرانی یا حساس در انسان، تا حد زیادی از حوزه فراگیری زبان<sup>۳</sup> ناشی شده است. مطالعات موردی در خصوص افرادی که به‌صورت طولانی از تحریک زبانی در اوایل کودکی محروم بوده‌اند، نشان داده که این افراد موفق به توسعه طبیعی زبان حتی پس از قرار گرفتن در معرض شدید موقعیت‌های زبانی نشده‌اند (پنهون، ۲۰۱۱). از طرفی، مطالعات نشان می‌دهد که تسلط بر زبان دوم در افرادی که قبل از بلوغ در معرض زبان دوم قرار گرفتند، بیشتر است (نیکولاس و گیرز، ۲۰۰۷؛ وبر- فاکس و نیویل، ۲۰۰۱).

علاوه‌براین، مطالعات نشان داده‌اند اگر نیمکره چپ در دوره طفولیت اولیه و به‌صورت زود هنگام آسیب ببیند، نیمکره راست کارکردهای مشخصی نظیر رشد زبان را به‌عهده می‌گیرد و زبان، می‌تواند نسبتاً به‌طور عادی رشد کرده و ایجاد شود. باوجوداین، اگر پس از آن که زبان فراگرفته شد، نیمکره چپ آسیب ببیند، شخص ممکن است هرگز توانایی سخن گفتن روان را پیدا نکند؛ چرا که در چنین حالتی دوره حساس برای جایگزینی نیمکره راست سپری شده است. شاید نیمکره راست از نظر شیمیایی یا ساختاری تغییر کرده باشد و به این دلیل قادر نباشد وظایف نیمکره چپ را به‌عهده بگیرد (ساوین- لمیکس، بایلی و پنهنون، ۲۰۰۹؛ پاینه و ایساکس، ۲۰۱۷).

- 
1. sensitive periods
  2. critical periods
  3. language acquisition

اعتقاد بر این است که تجربه‌هایی که ما در دوران کودکی در آن درگیر و مشارکت می‌کنیم، می‌تواند به‌خوبی تا سال‌های بزرگ‌سالی همراه ما باقی بماند. برای نمونه، مطالعات رفتاری که عملکرد نوازندگان با آموزش زود هنگام<sup>۱</sup> (ET) و دیر هنگام<sup>۲</sup> (LT) را مقایسه کرده‌اند، نشان داده‌اند که آموزش زود هنگام برای رشد و تکامل زیر و بم کامل آهنگ<sup>۳</sup>، لازم و ضروری است (کاستا- گیومی، سیدل و لغبر، ۲۰۰۱؛ میازاکی و راکوسکی، ۲۰۰۲). مطالعات تصویرنگاری مغز، نشان داده‌اند که تغییرات ساختاری و عملکردی مرتبط با فعالیت‌های ادراکی- حرکتی نظیر پاسخ به محرک‌های متوالی یا آموزش موسیقی برای کسانی که در اوایل زندگی شروع به آموزش کرده‌اند، بیشتر است (اشنیدر و همکاران، ۲۰۰۲؛ گاسر و اسشلاگ، ۲۰۰۳؛ کونک، لوتز، ووستنبرگ و جانکی، ۲۰۰۴). این یافته‌ها نشان می‌دهد، ممکن است یک دوره حساس یا بحرانی برای آموزش مهارت‌های حرکتی نظیر موسیقی، تایپ و یا مهارت‌های ورزشی وجود داشته باشد. مفهوم دوره‌های بحرانی و حساس<sup>۴</sup> در رشد، از مطالعاتی ناشی شده است که نشان می‌دهد در صورتی که در طول یک دوره زمانی محدود در رشد، تحریک مناسب دریافت نشود، رفتارهای مشخص و مسیرهای عصبی مربوط به آن‌ها به‌طور طبیعی رشد نمی‌کنند (کنودوسن، ۲۰۰۴). در طول یک دوره حساس، سیستم عصبی به‌طور خاص به محرک‌های مربوط پاسخ می‌دهد و زمانی که تحریک می‌شود، بیشتر مستعد تغییر است. دوره‌های بحرانی<sup>۵</sup>، دوره‌های حساسی<sup>۶</sup> هستند که شروع و خاموشی نسبتاً ناگهانی دارند. یک مثال کلاسیک از دوره بحرانی، به پژوهش هوبل و ویسل<sup>۷</sup> (۱۹۶۵؛ به نقل از واتانابه، ساوین- لمیکس و پنهنون (۲۰۰۷) برمی‌گردد که نشان دادند، اگر گربه‌ها در طول ماه اول پس از تولد، از دید یکی از چشم‌ها محروم شوند، دید دو چشمی طبیعی آن‌ها رشد نمی‌کند، حتی زمانی که بینایی به چشم محروم شده برگردد و یا ترمیم شود؛ در سطح عصبی، الگوی ارتباط سلولی<sup>۸</sup> تغییر می‌کند و نمی‌تواند پس از سپری شدن دوره بحرانی تغییر کند.

علاوه‌براین، مطالعات نشان داده‌اند اگر نیمکره چپ در دوره طفولیت اولیه و به‌صورت زود هنگام آسیب ببیند، نیمکره راست کارکردهای مشخصی نظیر رشد زبان را به‌عهده می‌گیرد و زبان، می‌تواند نسبتاً به‌طور عادی رشد کرده و ایجاد شود. باوجوداین، اگر بعد از آن که زبان فراگرفته شد، نیمکره چپ آسیب ببیند، شخص ممکن است هرگز توانایی سخن گفتن روان را پیدا نکند، چرا که در چنین حالتی دوره بحرانی برای جایگزینی نیمکره راست سپری شده است. شاید نیمکره راست از نظر شیمیایی یا ساختاری تغییر کرده باشد و به این دلیل، قادر نباشد وظایف نیمکره چپ را به‌عهده بگیرد (پاینه و ایساکس، ۲۰۱۷). این یافته‌ها، موجب شد لِنبرگ

- 
1. Early-Trained (ET)
  2. Late-Trained (LT)
  3. absolute or "perfect" pitch
  4. critical and sensitive periods
  5. critical periods
  6. sensitive periods
  7. Hubel, D., & Wiesel, T. N.
  8. cellular connectivity

(۱۹۶۷) پیشنهاد کند یک دوره بحرانی برای نوعی شکل‌پذیری عصبی<sup>۱</sup> که کارکردهای زبان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، وجود دارد که از اوایل طفولیت تا دوره بلوغ گسترش می‌یابد. این فرضیه برای مطالعه اکتساب زبان دوم پذیرفته شده و نشان می‌دهد، قرار گرفتن در معرض زبان دوم در دوره حساس نسبت به پس از دوره حساس منجر به روانی و تسلط بیشتر می‌شود. این فرضیه توسط نتایج تعدادی از مطالعات حمایت شده که نشان می‌دهد، تسلط بر زبان دوم در افرادی که قبل از سن ۱۳-۱۱ سالگی در معرض زبان دوم قرار گرفتند، بیشتر بوده است (ویر-فاکس و نویل، ۲۰۰۱).

با وجود شواهد ذکر شده که نشان می‌دهد آموزش زودهنگام یک پیش‌نیاز برای برتری در بسیاری از حوزه‌های عملکرد حرکتی ماهرانه است؛ در کمال شگفتی، مطالعه تجربی برای بررسی اثر آموزش حرکتی زودهنگام بر روی عملکرد افراد بسیار اندک است، برخی از شواهد پیشنهادی در خصوص اهمیت تجربه حرکتی در اوایل زندگی از مطالعات اخیر بر روی کودکان نگهداری شده در یتیم‌خانه‌ها که بعداً به خانواده‌ها در بریتانیا و ایالات متحده سپرده شده‌اند، ناشی شده است. این کودکان در طی مدتی که در یتیم‌خانه‌ها بودند، از نظر تجربه حرکتی بسیار محدود شده بودند. بررسی توانایی‌های حرکتی این کودکان پس از سپرده شدن آن‌ها به خانواده‌ها، کمبودهای ظریفی در مهارت‌های حرکتی نظیر تعادل در حالت ایستاده و هماهنگی حرکتی ظریف را نشان داد است (توبر و پولاک، ۲۰۰۵). این نتایج نشان می‌دهد که محرومیت حرکتی در طول دوره حساس مفروض برای یادگیری حرکتی، می‌تواند به نقص و زوال طولانی‌مدت منجر شود. براین اساس، فرض می‌شود که تجربه حرکتی غنی شده، مانند آموزش موسیقی یا مهارت‌های حرکتی نظیر تایپ کردن و یا پاسخ به محرک‌های متوالی در این دوره حساس، می‌تواند به تغییرات عصبی پایدار و بهبود عملکرد حرکتی در مراحل بعدی زندگی منجر شود (پنهون، ۲۰۱۱).

توالی حرکتی، اساس بسیاری از رفتارهای هوشمندانه انسان است. اجزای هر حرکت با ترتیب مشخصی ظاهر می‌شوند تا هدف حرکتی موردنظر انجام شود که به آن توالی حرکتی گفته می‌شود (آشه، لونگو، بسفورد و لو، ۲۰۰۶). تقریباً هر عملی که انجام می‌شود، به‌نوعی براساس ترتیب یا توالی مشخصی صورت می‌گیرد؛ هنگامی که ورزشکاری مهارتی را انجام می‌دهد یا ژیمناستی یک روتین ژیمناستیک را اجرا می‌کند و یا هنگامی که یک فرد در یک عمل ساده شماره تلفنی را می‌گیرد. فرآیند یادگیری شامل دو قسمت مشخص است. یکی یادگیری ترتیب عناصر و اجزا موجود در توالی و دیگری توانایی انجام توالی است. بدین ترتیب در توالی حرکتی، ترکیب اجزا حرکت به‌صورت واحد و یکپارچه و نمایش هماهنگ آن، مهارت محسوب می‌شود که فرآیند ایجاد این مهارت در یادگیری حرکتی موردبررسی قرار می‌گیرد (مویسلا و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از مهم‌ترین ابزارهایی که در مطالعات رفتاری برای بررسی عملکردهای یادگیری حرکتی استفاده می‌شود، تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی (SRT) است که به تکلیف توالی حرکتی معروف است و توسط نیسن و بولمر<sup>۲</sup> (۱۹۸۷؛ به‌نقل از توماس و نلسون، ۲۰۰۱) مطرح شد. در این مورد، محرک هدف در چندین محل

1. neural plasticity

2. Nissen, M. J., & Bullemer, P.

فضایی با ترتیبی منظم یا نامنظم (تصادفی) ظاهر می‌شود و آزمودنی‌ها باید هرچه سریع‌تر با فشار دادن کلید مرتبط با تحریک پاسخ دهند. در این مورد آزمون‌شوندگان با تکرار آزمایش و کسب تجربه، به محرک‌ها در زمان کوتاه‌تر و با دقت بیشتری پاسخ می‌دهند که بیانگر برخی تخمین‌ها در مورد ظهور محرک‌ها (یادگیری ترتیب توالی‌ها) و کاهش خطا (افزایش دقت اجرای تکلیف) است.

با توجه به اهمیت تجارب حرکتی غنی شده بر عملکرد آینده، بررسی این چالش به‌منظور درک بهتر پدیده‌های مؤثر بر رشد و یادگیری حرکتی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و یکی از ابعاد بررسی طرح حاضر است. به‌طور خاص، هدف اصلی این تحقیق پاسخ به این سؤالات بود که آیا آموزش زود هنگام بر عملکرد و یادگیری تکلیف توالی حرکتی که نوعی تکلیف ادراکی- حرکتی است، تأثیر دارد؟ آیا سرعتی که افراد می‌توانند پاسخ‌های حرکتی را انتخاب کنند، تابع تجارب حرکتی غنی شده است؟ آیا برای یادگیری بهینه برخی از تکالیف ادراکی- حرکتی دوره حساس یادگیری وجود دارد؟

در مطالعه حاضر برای پاسخ به این سؤالات، از الگوی زمان عکس‌العمل متوالی به‌دلیل ماهیت ساده دستورالعمل‌های آن، همچنین سنجش دقیق پدیده یادگیری، به‌منظور بررسی تأثیر آموزش زود هنگام بر عملکرد و یادگیری تکلیف توالی حرکتی در سه گروه سنی، آموزش زود هنگام و دیر هنگام و کنترل استفاده شد. با توجه به این که محققان، دوره کودکی و به‌خصوص اوایل کودکی را نوعی دوره حساس یا بحرانی برای یادگیری تلقی کرده‌اند، به‌طوری که در این دوره تأثیر تجربه بر مغز و جنبه‌های رشد کودک بسیار زیاد است، به‌نظر می‌رسد با اندازه‌گیری عملکرد افراد در دو مؤلفه دقت و سرعت و روشن شدن نتایج این پژوهش بتوان تخمین‌هایی در مورد سن شروع ورزش در ورزش‌های نیازمند سرعت و دقت ارائه کرد.

## روش

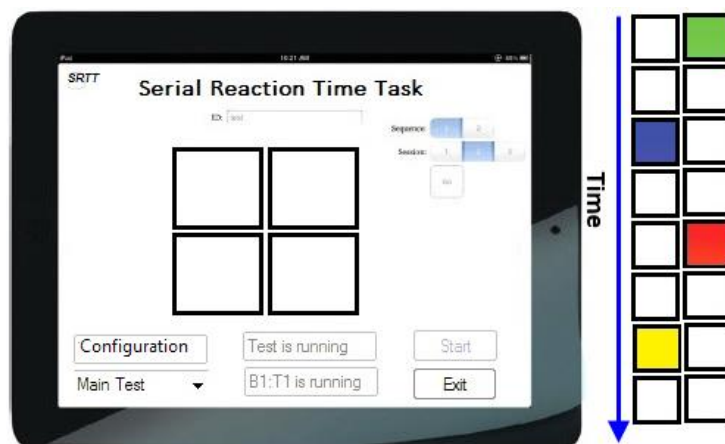
### جامعه آماری، نمونه و روش اجرای پژوهش

تحقیق حاضر از نظر روش از نوع نیمه‌تجربی و از نظر هدف از نوع کاربردی است. جامعه آماری این تحقیق را کلیه دانشجویان و خدمه دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران تشکیل دادند که در نیمسال دوم ۹۶-۱۳۹۵ مشغول به تحصیل بودند. نمونه‌نمایی این تحقیق ۳۶ آزمودنی (پسر) راست دست، با دامنه سنی ۱۸ تا ۲۷ سال، سالم از نظر سیستم عصبی (فاقد بیماری‌های نورولوژیک)، و بدون اختلال حرکتی و پاتولوژیک بود که به‌صورت هدفمند و در دسترس انتخاب و در سه گروه ۱۲ نفری مشتمل بر آموزش زود هنگام (۱۲ نفر)، آموزش دیر هنگام (۱۲ نفر) و گروه کنترل و بدون آشنایی و یا تجربه با ادوات موسیقی و رایانه (۱۲ نفر) گمارده شدند.

برای اجرای طرح، ابتدا ضمن تشریح روند آزمون‌ها، فرم رضایت‌نامه به‌صورت آگاهانه توسط آزمودنی تکمیل می‌شد. پس از در نظر گرفتن کلیه معیارهای حذف و انتخاب و اطمینان از ورود نمونه‌ها به فرآیند تحقیق، فرم مشخصات نمونه‌ها توسط محقق تکمیل شد. این پرسشنامه شامل اطلاعاتی از قبیل سن، جنس، قد، وزن، دست غالب، میزان تحصیلات، عادات زندگی و میزان کار با رایانه و ادوات موسیقی بود. پرسشنامه اطلاعات شخصی برای اطلاع از وضعیت فرد و همچنین نداشتن مصدومیتی که عملکرد او را تحت‌الشعاع قرار

دهد، تکمیل شد.

برای اجرا، نمونه روی یک صندلی پشتی دار در مقابل یک رایانه می‌نشست و دست خود را طوری روی میز می‌گذاشت که احساس راحتی کند و به آسانی بتواند انگشت دست خود را روی هر کدام از چهار کلید علامت‌گذاری شده با برجسب رنگی قرار دهد. از آزمودنی خواسته شد که به محض نمایش بصری هر مربع، کلید هم‌رنگ آن را فشار دهد. در این نرم‌افزار هر الگو یا توالی حرکتی شامل نمایش هشت مربع رنگی (تحریک) است که در اصطلاح رفتار حرکتی یک کوشش<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. تکرار ۱۰ کوشش متوالی که در مجموع ۸۰ تحریک است، یک بلوک حرکتی نامیده می‌شود که در حقیقت بسته عملکردی نرم‌افزار محسوب می‌شود و محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها بر روی این بلوک‌ها انجام گرفته است. در این نرم‌افزار مربع‌ها (محرک‌ها) با ترتیب مشخصی ظاهر می‌شدند. ترتیب ظاهر شدن مربع‌های رنگی در هر توالی، دارای دو حالت متفاوت است که در بخش‌های مختلف آزمون مورد استفاده قرار گرفته است. در یک حالت، محرک‌ها با ترتیب مشخص و از قبل تعیین شده فعال می‌شوند (توالی منظم) عبارت است از: سبز، آبی، زرد، آبی، قرمز، زرد، سبز؛ زرد و در حالت دوم، محرک‌ها به صورت تصادفی ارائه می‌شوند (توالی نامنظم)؛ بدین معنا که ترتیب ارائه محرک‌ها توسط نرم‌افزار تعیین می‌شود و هیچ رابطه منطقی در ترتیب ظهور آن‌ها وجود ندارد.



شکل ۱- نمای کلی نرم‌افزار تکلیف ارائه محرک‌های متوالی

در این پژوهش کل مداخله شامل دو فاز (اکتساب و یادداری) و ۱۰ مرحله بود که طی آن‌ها نتایج عملکرد گروه‌ها با هم مقایسه شد. پس از در نظر گرفتن کلیه معیارهای حذف و انتخاب و اطمینان از ورود نمونه‌ها به فرآیند تحقیق، نمونه‌ها وارد فاز مداخله اصلی، یعنی اکتساب شدند. این مرحله شامل انجام هشت بلوک حرکتی (هر بلوک شامل ۱۰ کوشش و هر کوشش شامل هشت تحریک) بود که ترتیب ظاهر شدن مربع‌ها در چهار بلوک اول به صورت، سبز، آبی، زرد، آبی، قرمز، زرد، سبز و زرد بود. سپس دو بلوک با ترتیب تصادفی و نامنظم

1. trial

انجام می‌شد و پس از آن دو بلوک دیگر، با ترتیب چهار بلوک اول تکرار می‌شود. در ابتدای آزمون، به گروه‌های مورد مطالعه گفته شد که در تکلیف توالی حرکتی، بلوک‌های یک تا چهار و هفت و هشت دارای ترتیب منظم و بلوک‌های پنج و شش با ترتیب تصادفی ظاهر می‌شوند.

یک روز (۲۴ ساعت) بعد از انجام مرحله اکتساب؛ یعنی طی شدن فاز خاموش (استراحت و خواب شبانه) مرحله دوم، یعنی سنجش یادداری انجام شد که در مورد گروه‌های مورد مطالعه مشترک بود. این مرحله شامل انجام دو بلوک با ترتیب منظم مرحله اول است که بین دو بلوک مذکور یک دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. آزمون مرحله دوم، به این دلیل انجام می‌شود که اولاً مشخص شود که آیا تغییر زمان پاسخ و دقت پاسخ آزمودنی‌ها در طی انجام دادن بلوک‌ها، به‌خاطر اثرات موقتی تمرین است یا تغییری نسبتاً پایدار حادث شده و رد حافظه‌ای واقعاً در حافظه تقویت و تثبیت شده است، ثانیاً بتوان بین گروه‌های مورد مطالعه مقایسه انجام داد. انجام آزمایش در گروه‌های مورد مطالعه از لحاظ تعداد بلوک‌ها، کوشش‌ها و تعداد مربع‌ها (محرک‌ها) و الگوی ظاهر شدن آن‌ها دقیقاً مشابه بود، با این تفاوت که گروه کنترل هیچ‌گونه تخصص و تجربه‌ای در موسیقی نداشته و اطلاعات آن‌ها در زمینه رایانه نیز در حد کاملاً مبتدی بود. لازم به‌ذکر است که برای آشنایی آزمودنی‌ها با نرم‌افزار، قبل از انجام آزمایش یک بلوک به‌صورت آزمایشی توسط آزمودنی‌های گروه‌های مختلف اجرا می‌شد.

در روند بررسی داده‌ها و اطلاعات مربوط به اجرای آزمودنی‌ها، نتایج مربوط به هر تحریک (فاصله زمانی بین ارائه محرک تا پاسخ حرکتی)، کوشش و بلوک حرکتی و تعداد خطاهای آزمودنی‌ها به محرک‌های هدف در هر مرحله به‌طور خودکار توسط یک لپ‌تاپ DELL ثبت می‌شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، از نرم‌افزار SPSS-۱۸ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. از آمار توصیفی برای طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی داده‌ها استفاده شد. برای بررسی میزان انطباق توزیع داده‌های حاصله با توزیع نظری نرمال از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. برای بررسی عملکرد آزمودنی‌ها طی بلوک‌های حرکتی مختلف و اختلافات بین گروه‌ها و پیشرفت گروه‌های آزمودنی در بلوک‌های حرکتی از آزمون تحلیل واریانس دوره‌ای و یک‌راهه (ANOVA) با گروه به‌عنوان عامل بین افراد و بلوک به‌عنوان عامل درون افراد استفاده شد. سطح آلفا ( $\alpha$ ) برای تمامی عملیات آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

## ابزار سنجش

**آزمون مختصر وضعیت روانی-شناختی<sup>۱</sup> (MMSE):** آزمون مختصر وضعیت روانی-شناختی توسط فولشتاین، فولشتاین و مک‌هوق<sup>۲</sup> (۱۹۷۵؛ به‌نقل از صالحی، شیخ، حمایت‌طلب و حومنیان، ۲۰۱۶) طراحی شده است که در کنار شرح حال دقیق در طب عمومی، برای ارزیابی اولیه وضعیت شناختی استفاده می‌شود و اطلاعاتی در مورد جهت‌یابی، ثبت اطلاعات، توجه و محاسبه، یادآوری و مهارت‌های زبانی فراهم می‌کند.

1. Mini Mental State Examination (MMSE)

2. Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R.

مطالعات داخلی و خارجی در خصوص روایی و پایایی آن نشان داده است که ضریب اعتبار آزمون با روش آلفای کرونباخ با توجه به نمره کل در تشخیص بین ۰/۸۴-۰/۹۱ می‌باشد.

**پرسشنامه سلامت عمومی<sup>۱</sup> (GHQ):** این پرسشنامه توسط گلدبرگ و هیلر در سال ۱۹۷۹ ابداع شد. یک پرسشنامه خودگزارش‌دهی است که با هدف ردیابی کسانی که دارای اختلال جسمانی یا روانی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد و مطالعات کلی در خصوص روایی و پایایی آن نشان داده است که ضریب اعتبار آن در تمایز بیماری روانی و سلامت به روش آلفای کرونباخ ۰/۹۱ گزارش شده است (صالحی و همکاران، ۲۰۱۶).

**مقیاس کلی ارزیابی تمرین و تجربه کار با موسیقی، رایانه‌ای و تایپ<sup>۲</sup> (GIMTRE):** این شاخص توسط پنهن، زاتوری و فیندل (۱۹۹۹)، ارائه شد و برای ارزیابی تعداد سال‌های تجربه، مقدار آموزش رسمی و تعداد ساعت تمرین فعلی موسیقی یا کار با ابزارهای رایانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب پایایی این ابزار به روش بازآزمایی ۰/۸۹ برآورد شده است (واتانابه، ساوین - لمیکس و پنهن، ۲۰۰۷). براساس این مقیاس، گروه‌های آموزش زودهنگام و دیرهنگام از نظر میزان تجربه همسان‌سازی شدند و تفاوت آن‌ها فقط در سن شروع کار با رایانه یا موسیقی بود که در گروه‌های زودهنگام، قبل از هفت سالگی و در گروه‌های دیرهنگام بعد از هفت سالگی بوده است. همچنین براساس این مقیاس، گروه کنترل و فاقد زمینه موسیقایی و رایانه‌ای نیز، از بین افراد و خدمه دانشکده علوم چمران که در دسترس آزمونگر بوده انتخاب شدند.

**نرم‌افزار تکلیف ارائه محرک‌های متوالی<sup>۳</sup> (SRTT):** در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های مورد نیاز و نوع تکلیف حرکتی نرم‌افزاری تحت عنوان SRTT در محیط برنامه نویسی C++ برای تولید و اجرای محرک‌های متوالی طراحی شد. این ابزار براساس مدل نیسن و بولمر (۱۹۸۷)، برای ارزیابی یادگیری توالی حرکتی طراحی شده است. در این نرم‌افزار چهار مربع در صفحه مانیتور در نظر گرفته شده است که قابلیت تبدیل به چهار رنگ زرد، سبز، قرمز و آبی را دارد و برای هر یک از رنگ‌های مذکور، کلیدی بر روی صفحه کلید با برجسب رنگی تعبیه شده که با فشار دادن کلید مربوط به هر رنگ بلافاصله مربع بعدی ظاهر می‌شود. نرم‌افزار SRTT، طوری طراحی شده که تعداد محرک‌هایی که در یک توالی به دنبال هم می‌آیند، قابل تنظیم است. همچنین می‌توان تعیین کرد که محرک‌ها با چه آرایشی ظاهر شوند؛ یعنی می‌توان نوع ترتیب ارائه محرک‌ها (منظم یا نامنظم بودن توالی‌ها) را مشخص کرد یا این که می‌توان چگونگی ارائه محرک‌ها را با رایانه تنظیم نمود. در این نرم‌افزار زمان استراحت توالی‌ها و بلوک‌های حرکتی قابل تنظیم است. این تکلیف محدودیت سنی ندارد و در مطالعات مختلف در طیف‌های سنی متفاوت اعم از سالمندان، جوانان و کودکان

1. General Health Questionnaire (GHQ)

2. General Index of Musical Training and Related Experience (GIMTRE)

3. Serial Reaction Time Task (SRTT)



مورد استفاده قرار گرفته است (توماس و نلسون، ۲۰۰۱). این نرم‌افزار زمان عکس‌العمل را به هزارم ثانیه و تعداد پاسخ‌های اشتباه به محرک‌های هدف را به صورت مجزا اندازه‌گیری می‌کند. در مورد روایی و پایایی ابزار، از روش مورد استفاده در این پژوهش در تحقیقات متعدد خارجی استفاده شده و مطالعات نشان داده است این آزمون وابسته به فرهنگ نیست (گرین و شانکز، ۱۹۹۳؛ نجاتی، گروسی فرشی، عشایری و اقدسی، ۲۰۰۷). علاوه بر این، در این ابزار مداخله و ارزیابی دقیقاً یکسان است. از طرفی، نتایج به وسیله لپ‌تاپ ثبت می‌شد و شرکت سازنده آن را طی چندین مرحله کالیبره نموده و نقایص آن را برطرف کرده است؛ بنابراین خطای انسانی در ثبت دخیل نیست (نجاتی و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به این که این ابزار اندازه‌گیری تکلیف مورد نظر را با زمان سنج رایانه‌ای با دقت یک هزارم ثانیه (ms) اندازه‌گیری می‌کند و برای این کار طراحی شده، دارای اعتبار صوری<sup>۱</sup> است. ضریب پایایی این ابزار با روش بازآزمایی<sup>۲</sup> ۰/۹۳ برآورد شده است.

## یافته‌ها

### الف) توصیف جمعیت شناختی

جدول ۱- ویژگی‌های جمعیت شناختی آزمودنی‌ها براساس تعداد، سن، سال‌های تجربه و تمرین

فعلی آن‌ها						
گروه‌ها	تعداد	سن فعلی	سن شروع کار با ادوات	سال‌های تجربه	آموزش رسمی	ساعات تمرین فعلی
آموزش زود هنگام	۱۲	۲۰/۳	۶/۶	۱۳/۷	۷/۲	۷/۳
آموزش دیر هنگام	۱۲	۲۴/۵	۱۱/۹	۱۱/۶	۶/۴	۸/۴
آزمون t	-	P=۰/۰۱	P=۰/۰۰۱	P=۰/۱۲۶	P=۰/۱۸۷	P=۰/۱۶۲
گروه کنترل	۱۲	۲۵/۴	-	-	-	-

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در جدول ۱ ویژگی‌های آزمودنی‌ها براساس تعداد، سن، سال‌های تجربه و تمرین فعلی آن‌ها توصیف شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت تحلیل داده‌های جمعیت شناختی با استفاده از آزمون t نشان داد گروه‌ها از نظر سن کنونی ( $P=۰/۰۱$ ) و سن شروع آموزش کار با ادوات موسیقی یا رایانه ( $P=۰/۰۰۱$ ) متفاوت بودند؛ اما تفاوت معناداری بین گروه آموزش زود هنگام و دیر هنگام در تعداد کل سال‌های تجربه موسیقی یا رایانه ( $P=۰/۱۲۶$ )، تعداد سال‌های آموزش رسمی ( $P=۰/۱۸۷$ ) و یا تعداد ساعاتی که آن‌ها در حال حاضر تمرین می‌کنند و با ادوات موسیقی یا رایانه سروکار دارند ( $P=۰/۱۶۲$ ) وجود نداشت و این موضوع نشان‌دهنده آن است که در این مؤلفه‌ها، گروه‌های شرکت‌کننده به خوبی همسان شدند و بین آن‌ها همگنی وجود دارد.

1. face validity

2. test-retest

## ب) توصیف شاخص‌ها

بررسی شاخص‌های آمار توصیفی، نشان داد در مؤلفه زمان پاسخ، تمام گروه‌ها بر اثر پاسخ به محرک‌های متوالی در طی انجام بلوک‌های حرکتی پیشرفت نشان دادند، از مقایسه میانگین عملکرد گروه‌ها در بلوک هشت و بلوک دو نیز این پیشرفت مشخص است. مقدار عددی کمتر در بلوک هشت نسبت به بلوک دو، در تمامی گروه‌ها نشانه عملکرد بهتر است. در گروه آموزش زود هنگام، میانگین بلوک دو، برابر  $46395/45$  هزارم ثانیه بوده که در انتهای روز اول در بلوک هشت، به  $36876/77$  هزارم ثانیه و در بلوک  $10$ ، به  $31765/76$  هزارم ثانیه رسید. در گروه آموزش دیر هنگام، میانگین بلوک دو، برابر  $57321/45$  هزارم ثانیه بوده که در بلوک هشت، به  $42456/28$  هزارم ثانیه و در انتهای روز دوم در بلوک  $10$ ، به  $35786/67$  هزارم ثانیه رسید. در گروه کنترل نیز میانگین بلوک دو این گروه، برابر  $63932/58$  هزارم ثانیه بوده که در بلوک هشت، به  $51164/91$  هزارم ثانیه و در بلوک  $10$ ، به  $42302/12$  هزارم ثانیه رسید و یک کاهش تدریجی در زمان پاسخ را نشان داده است. همچنین بررسی میانگین‌ها نشان داد که زمان واکنش آزمودنی‌ها در کوشش‌های نامنظم (بلوک‌های پنج و شش) نسبت به کوشش‌های منظم با تأخیر زیادتری همراه بوده است؛ یعنی شرکت‌کنندگان هنگام انتقال از الگوی منظم به الگوی تصادفی به علت ماهیت خاص الگوهای نامنظم که هیچ رابطه منطقی در ترتیب آن‌ها وجود نداشت، مکث و تأخیر زیادی در پاسخ به محرک‌های متوالی از خود نشان دادند و اختلاف میانگین عملکردشان نسبت به بلوک‌های منظم بیشتر بود.

در مؤلفه دقت پاسخ نیز، تمام گروه‌ها در طی انجام بلوک‌های حرکتی پیشرفت در پاسخ صحیح به محرک‌ها یا کاهش خطا (افزایش دقت) نشان دادند، از مقایسه میانگین عملکرد گروه‌ها در بلوک‌ها نیز این پیشرفت مشخص است. مقدار عددی بیشتر در بلوک هشت، نسبت به بلوک دو در تمامی گروه‌ها نشانه عملکرد بهتر؛ یعنی افزایش دقت است. در گروه آموزش زود هنگام، میانگین بلوک دو، برابر  $94/40$  درصد بوده که در انتهای روز اول در بلوک هشت، به  $97/30$  درصد پاسخ صحیح و در بلوک  $10$ ، به  $98/20$  درصد پاسخ صحیح رسید. در گروه آموزش دیر هنگام، میانگین بلوک دو، برابر  $93/83$  درصد بوده که در انتهای روز اول در بلوک هشت، به  $96/70$  درصد پاسخ صحیح و در بلوک  $10$ ، به  $98/00$  درصد پاسخ صحیح رسید. در گروه کنترل نیز، میانگین بلوک دو این گروه، برابر  $92/75$  درصد بوده که در بلوک هشت، به  $95/20$  درصد پاسخ صحیح و در بلوک  $10$ ، به  $97/30$  درصد پاسخ صحیح رسید و روند کلی بلوک‌ها، یک افزایش تدریجی در دقت پاسخ (درصد صحیح پاسخ‌ها) را نشان داده است. همچنین بررسی میانگین‌ها نشان می‌دهد که دقت پاسخ آزمودنی‌ها در کوشش‌های نامنظم (بلوک‌های پنج و شش) نسبت به کوشش‌های منظم کمتر بوده است؛ یعنی شرکت‌کنندگان هنگام انتقال از الگوی منظم به الگوی تصادفی به علت ماهیت خاص الگوهای نامنظم که هیچ رابطه منطقی در ترتیب آن‌ها وجود نداشت، خطای بیشتری در پاسخ به محرک‌های متوالی از خود نشان دادند.

## ج) آزمون فرضیه‌ها

برای تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها و تبعیت آن‌ها از توزیع نظری نرمال از آزمون شاپیرو-ویلک<sup>۱</sup> استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد برای مؤلفه زمان پاسخ و دقت پاسخ، تمام متغیرهای تحقیق دارای توزیع طبیعی می‌باشند. نتایج آزمون تحلیل واریانس دوره در مرحله اکتساب برای دو مؤلفه زمان و دقت پاسخ نشان داد در متغیر وابسته زمان پاسخ اثر اصلی بلوک‌های تمرینی ( $\eta^2=0/63$ ،  $P=0/021$  و  $F=3/65$ ) معنادار بود. همچنین اثر اصلی گروه ( $\eta^2=0/74$ ،  $P=0/001$  و  $F=0/876$ ) معنادار بود. این موضوع در متغیر دقت پاسخ نیز صادق بوده است ( $P\leq 0/05$ ). با توجه به معناداری عوامل بلوک و گروه، در ادامه جهت بررسی تأثیر تغییرات درون گروهی بر عملکرد مؤلفه زمان و دقت پاسخ تکلیف توالی حرکتی از یک طرح تحلیل واریانس درون گروهی با اندازه‌گیری تکراری و با تعدیل آلفا روی عامل بلوک استفاده شد، به طوری که عملکرد هر کدام از گروه‌ها در طول بلوک‌ها به‌طور مجزا مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی با اندازه‌گیری تکراری روی عامل بلوک‌ها نشان داد که نوع آموزش بر اجرای تکلیف توالی حرکتی تأثیر دارد. برای مشخص کردن جایگاه تفاوت‌های موجود در بین بلوک‌های حرکتی، از آزمون بونفرونی<sup>۲</sup> استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد اختلاف زمان و دقت بلوک هشتم و دوم در گروه‌های شرکت‌کننده معنادار بود ( $P=0/001$ ) که این امر، نشان‌دهنده بهبود عملکرد گروه‌ها بوده است. به‌طور کلی، مقایسات زوجی نشان داد که گروه آموزش زود هنگام در مؤلفه زمان و دقت پاسخ در تمامی بلوک‌ها برتر از دیگر گروه‌ها اجرا نموده‌اند. پس از بررسی درون گروهی، برای بررسی تفاوت‌های گروه‌های شرکت‌کننده در هر یک از بلوک‌های تکلیف توالی حرکتی در مرحله اکتساب از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه (ANOVA) استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲، گزارش شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با توجه به مقدار  $F$  و سطح معناداری به‌دست آمده، در تمام بلوک‌های تمرینی بین گروه‌های آزمودنی در مؤلفه زمان و دقت پاسخ تفاوت معناداری وجود دارد ( $P\leq 0/05$ ). یعنی در این آزمایش، گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه گواه در طول بلوک‌های حرکتی در پاسخ به محرک‌های متوالی عملکرد متفاوتی بر جای گذاشته‌اند. از آن‌جا که  $F$  به‌دست آمده معنادار است، برای بررسی و تعیین محل تفاوت بین میانگین عملکرد گروه‌های آزمودنی در هر یک از بلوک‌های حرکتی از آزمون تعقیبی توکی<sup>۳</sup> (HSD) استفاده شد.

نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد برای مؤلفه زمان پاسخ، در بلوک یک، بین گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه گواه تفاوت معنادار وجود دارد و گروه‌های مختلف شرکت‌کننده عملکرد متفاوتی داشتند ( $P\leq 0/05$ )؛ در بلوک‌های دو، سه، چهار، پنج، شش، هفت و هشت نیز، این موضوع صادق بوده و بین تمام گروه‌های آزمودنی تفاوت معنادار وجود دارد ( $P\leq 0/05$ ). این یافته‌ها نشان می‌دهد که در پاسخ به محرک‌های متوالی، گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه گواه به‌طور متفاوتی به محرک‌ها

1. Shapiro-Wilk

2. bonferroni

3. Honest Significant Difference

پاسخ می‌دادند. نکته قابل توجه این است که بررسی آماره‌ها نشان داد، در مؤلفه زمان پاسخ، در تمامی مراحل که بین گروه‌ها تفاوت معنادار وجود داشته، این تفاوت به ترتیب به نفع گروه آموزش زود هنگام بوده و این گروه نسبت گروه‌های دیگر در طول انجام تکلیف توالی حرکتی با عکس‌العمل سریع‌تری به محرک‌ها پاسخ داده است. بعد از گروه آموزش زود هنگام، به ترتیب گروه آموزش دیر هنگام و گروه گواه عملکرد بهتری داشتند.

### جدول ۲- نتایج بین گروهی آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای مؤلفه زمان و دقت پاسخ گروه‌های شرکت‌کننده در مرحله اکتساب

مقدار P	مقدار F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	مجموع مجذورات	منبع تغییرات	
۰/۰۰۱*	۹۲۲۳۳۷/۰	۷۱۹۵۷۵۶/۱۵۳	۲	۱۴۳۹۱۵۱۲/۳۰۶	زمان	بلوک اول
۰/۰۰۱*	۱/۱۷۲	۱۷/۴۷۴	۲	۳۴/۹۴۷	دقت	
۰/۰۰۱*	۴۵۶۷۸۹/۲	۹۲۳۳۶۰۷/۰۴۳	۲	۱۸۴۶۷۲۱۴/۰۸۶	زمان	بلوک دوم
۰/۰۰۱*	۱/۸۹۰	۸/۴۲۸	۲	۱۶/۸۸۵	دقت	
۰/۰۰۱*	۳۴۶۸۶۵/۶	۱۲۸۷۱۶۶۸/۳۷۰	۲	۱۲۸۷۱۶۶۸/۳۷۰	زمان	بلوک سوم
۰/۰۰۱*	۱/۱۵۰	۴/۸۵۶	۲	۹/۷۱۱	دقت	
۰/۰۰۱*	۵۲۹۲۱۱/۱	۸۸۱۱۸۷۸/۶۷۲	۲	۱۷۶۲۳۷۵۷/۳۴۵	زمان	بلوک چهارم
۰/۰۰۱*	۵/۵۹۴	۴/۱۶۰	۲	۸/۳۱۹	دقت	
۰/۰۰۱*	۴۵۴۲۳۵/۳	۵۹۵۵۵۸۹/۰	۲	۱۱۹۱۱۳۷۸/۰	زمان	بلوک پنجم
۰/۰۰۱*	۱/۴۳	۱۰/۱۸۴	۲	۲۰/۳۶۷	دقت	
۰/۰۰۱*	۷۶۸۹۶۷/۵	۹۳۹۳۹۰۶/۹۰	۲	۱۸۷۸۷۸۱۳/۸۱۳	زمان	بلوک ششم
۰/۰۰۱*	۳/۴۹	۱۳/۴۴۰	۲	۲۶/۸۸۰	دقت	
۰/۰۰۱*	۳۱۳۴۷۶/۸	۸۶۲۴۳۸۱/۶۷	۲	۱۷۲۴۸۷۶۳/۳۵۹	زمان	بلوک هفتم
۰/۰۰۱*	۲/۵۴	۱۹/۱۷۵	۲	۳۸/۳۵	دقت	
۰/۰۰۱*	۲۲۱۳۴۵/۴	۶۲۲۲۴۲۲/۹۵	۲	۱۲۴۴۴۸۴۵/۹۰۶	زمان	بلوک هشتم
۰/۰۰۱*	۱/۱۱	۱۴/۰۴۰	۲	۲۸/۰۸۰	دقت	

گروه‌های آزمودنی

\*در سطح  $P \leq 0.05$  معنادار است.

نتایج آزمون تعقیبی توکی، نشان داد برای مؤلفه دقت پاسخ که در بلوک یک، بین گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه گواه تفاوت معنادار وجود دارد و گروه‌های مختلف شرکت‌کننده در پاسخ به محرک‌های متوالی، از نظر دقت، عملکرد متفاوتی داشتند ( $P \leq 0.05$ )؛ در بلوک‌های دو، سه، چهار، پنج، شش، هفت و هشت نیز این موضوع صادق بوده و بین تمام گروه‌های آزمودنی تفاوت معنادار وجود دارد ( $P \leq 0.05$ ). این یافته‌ها نشان می‌دهد که در پاسخ به محرک‌های متوالی، گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه گواه به طرز متفاوتی به محرک‌ها پاسخ می‌دادند. نکته قابل توجه این است که بررسی آماره‌ها نشان داد، در مؤلفه دقت پاسخ، در تمامی مراحل که بین گروه‌ها تفاوت معنادار وجود داشته، این تفاوت به ترتیب به نفع گروه آموزش زود هنگام بوده و این گروه نسبت گروه‌های دیگر در طول انجام تکلیف توالی حرکتی با دقت

بیشتری به محرک‌ها پاسخ داده است (خطای کمتری داشتند). بعد از گروه آموزش زودهنگام، به ترتیب گروه آموزش دیرهنگام و گروه گواه عملکرد بهتری داشتند. همان‌طور که انتظار می‌رفت گروه کنترل، در مؤلفه دقت پاسخ تکلیف توالی حرکتی، در تمامی بلوک‌ها متفاوت از گروه‌های دیگر عمل کردند (بیشتر از دیگر گروه‌ها در پاسخ به محرک‌ها متوالی خطا کردند).

برای بررسی تفاوت‌های گروه‌های شرکت‌کننده در هریک از بلوک‌های تکلیف توالی حرکتی در مرحله یادداری از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه (ANOVA) استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۳، گزارش شده است.

### جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای مؤلفه زمان و دقت پاسخ در مرحله یادداری

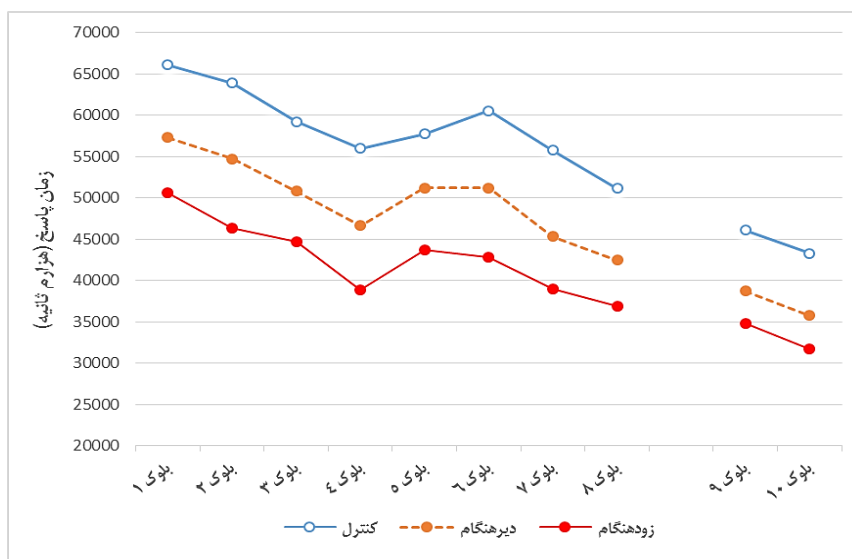
منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	مقدار F	مقدار P	مجزورات
بلوک ۹ زمان	۷۹۱۷۹۱۳/۹۱۵	۲	۳۹۵۸۹۵۶/۹۵	۶۱۷/۲۲	۰/۰۰۱*	۰/۸۶۵
دقت	۶/۲۰۰	۲	۳/۱۰۰	۲/۶۰۰	۰/۰۰۱*	۰/۷۵۱
بلوک ۱۰ زمان	۸۲۲۹۴۹۶/۱۶۴	۲	۴۱۱۴۷۴۸/۰۸	۶۲۹/۲۲	۰/۰۰۱*	۰/۹۰۵
دقت	۵/۳۶۰	۲	۲/۶۸۰	۳/۱۹۱	۰/۰۰۱*	۰/۶۹۹

\* در سطح  $P \leq 0/05$  معنادار است.

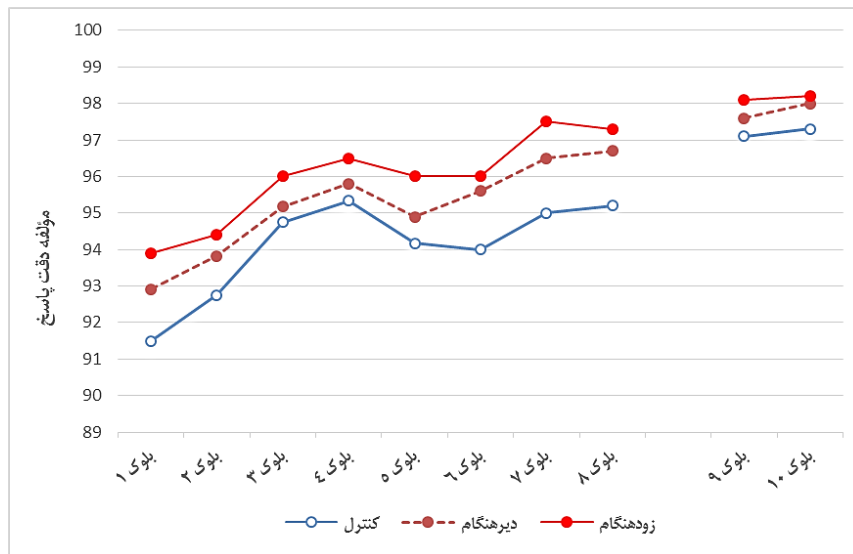
همان‌طور که در جدول ۳، مشاهده می‌شود با توجه به مقدار F و سطح معناداری به دست آمده، در بلوک‌های مورد بررسی، بین گروه‌های آزمودنی تفاوت معناداری وجود دارد ( $P \leq 0/05$ ). یعنی در این آزمایش، گروه‌های آموزش زودهنگام، دیرهنگام و گروه گواه در طول بلوک‌های حرکتی و در پاسخ به محرک‌های متوالی عملکرد متفاوتی برجای گذاشته‌اند. از آن‌جا که F به دست آمده معنادار است، برای بررسی و تعیین محل تفاوت بین میانگین عملکرد گروه‌های آزمودنی در هریک از بلوک‌های حرکتی از آزمون تعقیبی توکی (HSD) استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد برای متغیر زمان پاسخ، هنگام مقایسه میانگین بلوک‌های ۹ و ۱۰، بین گروه‌های آموزش زودهنگام، آموزش دیرهنگام و گروه گواه تفاوت معنادار وجود دارد؛ یعنی گروه‌های آزمودنی مختلف در بلوک‌های یادداری عملکرد متفاوتی داشتند ( $P \leq 0/05$ ). بررسی میانگین عملکرد گروه‌های آزمودنی نشان داد که در مرحله یادداری، گروه آموزش زودهنگام هماهنگ‌تر از گروه‌های آموزش دیرهنگام و گروه گواه به محرک‌ها پاسخ دادند و عکس‌العمل سریع‌تری داشتند (تأخیر زمانی کمتر داشتند) از طرفی بیشترین تأخیر در پاسخ به محرک‌ها متعلق به گروه گواه بود.

هنگام مقایسه میانگین بلوک‌های ۹ و ۱۰، بین گروه‌های آموزش زودهنگام، آموزش دیرهنگام و گروه گواه در متغیر دقت پاسخ تفاوت معنادار وجود دارد؛ یعنی گروه‌های آزمودنی مختلف در بلوک‌های یادداری عملکرد متفاوتی داشتند ( $P \leq 0/05$ )؛ اما در بلوک ۱۰ بین گروه آموزش زودهنگام و دیرهنگام تفاوت معنادار وجود نداشت ( $P \leq 0/05$ ) که نشان می‌دهد احتمالاً سطح عملکرد گروه دیرهنگام در مؤلفه دقت پاسخ، در بلوک

۱۰ به سطح عملکرد گروه زود هنگام رسیده است. به طور کلی، بررسی میانگین عملکرد گروه‌های آزمودنی نشان داد که در مرحله یادداری، گروه کنترل در پاسخ به محرک‌های متوالی بیشتر از گروه‌های آموزش زود هنگام و آموزش دیر هنگام خطا کرده بودند. همچنین گروه آموزش دیر هنگام کم‌دقت‌تر از آموزش زود هنگام بودند و خطای بیشتری داشتند (گروه آموزش زود هنگام دقیق‌تر از گروه‌های آموزش دیر هنگام و گروه گواه به محرک‌ها پاسخ دادند). نتایج توصیفی مربوط به عملکرد گروه‌های آزمودنی مختلف هنگام سنجش مؤلفه زمان پاسخ و دقت پاسخ در مراحل مختلف انجام تحقیق در شکل‌های ۲ و ۳، گزارش شده است.



شکل ۲- عملکرد آزمودنی‌ها در طول مراحل مختلف انجام تکلیف توالی حرکتی (زمان پاسخ)



شکل ۳- عملکرد آزمودنی‌ها در طول مراحل مختلف انجام تکلیف توالی حرکتی (دقت پاسخ)

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر، بررسی تأثیر آموزش زود هنگام بر عملکرد و یادداری تکلیف توالی حرکتی بود. تکلیف توالی حرکتی شامل تکلیف ارائه محرک‌های متوالی بود که سطح دشواری آن برای تمامی گروه‌ها یکسان بود. یافته‌های این پژوهش نشان داد تمامی شرکت‌کنندگان گروه‌های آزمودنی مختلف به‌طور کلی در اجرای تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی در دو مؤلفه سرعت و دقت پیشرفت کردند؛ اختلاف زمان و درصد پاسخ‌های صحیح بلوک‌های هشتم و دوم در تمامی گروه‌ها معنادار بود که نشان‌دهنده بهبود سرعت و دقت تمامی گروه‌ها حین انجام تکلیف توالی حرکتی است؛ یعنی تمرین و پاسخ مکرر به محرک‌های متوالی، موجب شد هم در توالی‌های تکراری و هم در توالی‌های تصادفی، سرعت واکنش به محرک‌ها و دقت پاسخ‌دهی (درصد پاسخ‌های صحیح) بهبود پیدا کند. با این حال، زمان واکنش و خطای پاسخ در توالی‌های تصادفی به‌علت عدم وجود رابطه منطقی در ظهور محرک‌ها، نسبت به توالی‌های منظم بیشتر بود.

گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه مقایسه‌ای گواه با پیشرفت مراحل آزمون در بلوک‌های منظم و نامنظم تکلیف توالی حرکتی سریع‌تر به محرک‌ها پاسخ دادند و خطای آن‌ها نیز کاهش یافت، این کاهش در عملکرد در بلوک‌های منظم به‌طور معناداری بیشتر بود که بیانگر افزایش سرعت و دقت در اجرای مهارت‌های حرکتی است. بنابراین، کاهش زمان پاسخ و افزایش درصد پاسخ‌های صحیح در گروه‌های آزمودنی را نمی‌توان صرفاً به افزایش ساده کارایی حرکتی مرتبط دانست، بلکه بخشی از این کاهش با پیشگویی محرک بعدی مرتبط است که با توجه به توالی‌های پیشین یاد گرفته شده بوده است. از آنجایی که در این مطالعه، گروه‌های آزمودنی از ترتیب توالی‌ها آگاهی داشتند، یادگیری آن‌ها از نوع صریح بوده؛ یعنی اطلاع از

ترتیب توالی‌ها در یادگیری حرکتی، می‌تواند دقت و سرعت یادگیری را در شرایط صریح بالا ببرد. نتایج این بخش با یافته‌های ساوین- لمیکس و همکاران (۲۰۰۹) همسو است؛ همچنین نتایج پژوهش‌های واتانابه، ساوین- لمیکس و پنهون (۲۰۰۷)، بایلی و پنهون (۲۰۱۲) که با استفاده از تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی بهبود عملکرد اجراکنندگان را نشان دادند، توسط تحقیق حاضر تأیید می‌شود.

یافته‌های این تحقیق نشان داد بین گروه‌های آزمودنی مختلف در مرحله اکتساب و یادداری در متغیر زمان پاسخ و دقت پاسخ تکلیف توالی حرکتی تفاوت معنادار وجود داشت. یعنی گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه مقایسه‌ای گواه در مؤلفه زمان پاسخ و دقت پاسخ نسبت به یکدیگر عملکردهای متفاوتی داشتند. به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد گروه آموزش زود هنگام عملکرد بهتری در اجرای تکلیف ارائه محرک‌های متوالی نسبت به گروه آموزش دیر هنگام و با سطح تمرین و تجربه مشابه داشت و این برتری اجرا پس از طی شدن فاصله یادداری ۲۴ ساعته، در روز دوم نیز همچنان ادامه داشت. این یافته‌ها از این ایده حمایت می‌کند که ممکن است یک دوره حساس در دوران کودکی وجود داشته باشد که در آن با غنی‌تر کردن آموزش حرکتی از طریق تمرین و تجربه، بتوان بهبود عملکرد حرکتی را در مراحل بعدی زندگی تقویت کرد. این یافته در حمایت از دوره‌های حساس با نتایج تحقیق بایلی و پنهون (۲۰۱۰)؛ لوبی، بلدن، هارم، تیلمان و بارچ (۲۰۱۶) هم‌سو است.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق ممکن است یک دوره حساس در رشد مغز وجود داشته باشد که در آن تجربه حرکتی در سن قبل از هفت سالگی، می‌تواند اثرات طولانی مدت بر عملکرد حرکتی در دامنه‌ای از تکالیف حرکتی مختلف داشته باشد. زیرا تغییرات ناشی از بالیدی در ساختارهای مغزی انسان در دوران کودکی بسیار زیاد است، هر چند این تغییرات رشدی تا اوایل نوجوانی نیز ادامه دارد. پس از تولد، تعداد سیناپس‌ها و در نتیجه، حجم ماده خاکستری<sup>۱</sup> بین ۳ و ۱۵ ماهگی، بسته به مناطق مغزی، به افزایش ادامه می‌دهد (هاتن اوچر و دابهولکار، ۱۹۹۷) هنگامی که این افزایش در تعداد سیناپس‌ها و حجم ماده خاکستری به اوج رسید، تعداد سیناپس‌ها از طریق فرآیند هرس سیناپسی<sup>۲</sup> کاهش می‌یابد. هرس سیناپسی، یعنی حذف ارتباط‌های سیناپسی بین نورون‌هایی که از آن‌ها استفاده نمی‌شود که این کار امکان استفاده کارآمدتر از نورون‌هایی که از آن‌ها استفاده می‌شود را فراهم می‌کند. این موضوع بخشی از فرآیندی است که شکل‌پذیری عصبی<sup>۳</sup> یا نوروپلاستیسیته<sup>۴</sup> گفته می‌شود. شکل‌پذیری عصبی، شامل افزایش سنتز انتقال‌دهنده‌های عصبی مانند دوپامین، سروتونین و آزاد کردن آن در سیناپس، ایجاد هرس سیناپسی و نورونز (تشکیل بافت عصبی) است. عصب‌شناسان بر این باور بوده‌اند که هرس سیناپسی یا فرآیند حذف سیناپس توسط سلول‌های گلیال که کار آن‌ها سرعت بخشیدن به سیگنال‌های بین نورون‌های مشخص بوده صورت می‌گیرد که این امر، موجب رشد

- 
1. grey matter
  2. synaptic pruning
  3. neural plasticity
  4. neuroplasticity



و عملکرد صحیح مغز و سلامتی آن می‌شود؛ بدین‌صورت که جریان نورونی را در مغز تحریک کرده و موجب وابستگی نورون‌ها و ایجاد یک جریان قوی بین آن‌ها از طریق کاهش یا افزایش انتقال‌دهنده‌های عصبی می‌شود و این امر، نقش مهمی در تسهیل فرآیندهای یادگیری و حافظه ایفا می‌کنند (هانسل، ۲۰۱۹). این پدیده عمدتاً در طول دوره طفولیت و اوایل کودکی اتفاق می‌افتد؛ اما در طول زندگی نیز ادامه می‌یابد. دانشمندان علوم اعصاب بر این باورند که این پدیده، زیربنای تخصص وابسته به تجربه<sup>۱</sup> یا مهارت است. برای مثال، هرچقدر تمرین پیانو بیشتر انجام شود یا به یک زبان صحبت شود و یا تمرین تردستی انجام شود، این جریان نورونی قوی‌تر می‌گردد. در مقابل، مقدار ماده سفید<sup>۲</sup> در طول رشد پیش‌رونده بدن افزایش می‌یابد. بنابراین، گرچه اندازه کل مغز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پس از سن پنج سالگی تغییر نمی‌کند؛ اما مقدار ماده سفید تا حدود ۲۰ سالگی افزایش می‌یابد (کاسای، گید و توماس، ۲۰۰۰). افزایش حجم ماده سفید اندازه‌گیری شده با MRI در مطالعات تصویربرداری عصبی تصور می‌شود که مربوط به افزایش تعداد آکسون‌های عصبی، قطر بزرگ‌تر آکسون‌ها و یا ضخامت بیشتر غلاف میلینی باشد که آن‌ها را احاطه کرده است (سوول و همکاران، ۲۰۰۴).

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعه حاضر، شواهد نشان می‌دهد که تجربه حرکتی تقویت شده در طول دوره زمانی که سیستم‌های عصبی و رفتاری تکامل نیافته هستند، به‌نظر می‌رسد که افزایش پایداری در عملکرد به‌وجود می‌آورد. در یک بررسی در مورد مکانیسم‌های عصبی زیربنایی دوره‌های حساس، کنودوسن (۲۰۰۴) شواهدی از تغییرات سیناپسی در سطح سلولی را توصیف کرد که نشان می‌دهد که دوره حساس، می‌تواند به‌وسیله تجربه آغاز شود. وی عنوان نمود که تجربه زیادی که در اوایل دوره حساس کسب می‌شود، مزیت منحصربه‌فردی دارد. زیرا شکل‌گیری مدارهای عصبی از طریق تجربه در اوایل دوره حساس، روشی ایجاد می‌کند که این مدارها به تجربه‌های اضافی در دوره حساس و بعد از آن پاسخ می‌دهند. به‌عنوان مثال، شکل‌پذیری (پلاستیسیتی) اولیه در اجرای حرکتی و یکپارچه‌سازی حسی - حرکتی ممکن است مدارهای بسیار تنظیم‌شده‌ای را تعدیل کنند که در آینده، می‌توانند به‌وسیله مکانیسم‌های یادگیری که در طول زندگی شکل‌پذیر باقی می‌مانند، بهینه شوند. این موضوع با نتایج مطالعه حاضر که نشان می‌دهد که گروه آموزش زود هنگام در سرعت و دقت تکلیف توالی حرکتی عملکرد بهتری نسبت به گروه آموزش دیر هنگام داشتند، منطبق است.

نتایج این تحقیق نشان داد بین عملکرد گروه‌های مختلف زود هنگام، دیر هنگام و کنترل در یادداری تکلیف توالی حرکتی در دو مؤلفه زمان و دقت پاسخ تفاوت معنادار وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت عملکرد گروه‌های آزمودنی به‌خاطر عوامل موقتی اجرا نبوده؛ بلکه این موضوع ریشه در مکانیسم‌های یادگیری متفاوتی داشته است. این نتیجه با این فرضیه عمومی منطبق است که حافظه حرکتی انسان بعد از جلسه تمرین و اکتساب مهارت، طی یک دوره بی‌تمرینی و استراحت همچنان ارتقا می‌یابد (واکر و همکاران، ۲۰۰۳). این امر، احتمالاً نشان‌دهنده تغییرپذیری در بازنمایی قشر حرکتی مغز است (ساوین - لمیکس و پنهنون، ۲۰۰۵) و این نتایج با مدل واکر (۲۰۰۵) که براساس آن اجرای یک تکلیف حرکتی پس از یک دوره استراحت بهبود

---

1. experience-dependent specialization

2. white matter

می‌یابد، هم‌سو است؛ همچنین با نتایج مطالعه واتانابه، ساوین- لمیکس و پنهون (۲۰۰۷)؛ بایلی و پنهون (۲۰۱۰)؛ بایلی و پنهون (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که تفاوت‌های گروهی قابل توجهی در عملکرد گروه‌های آموزش زود هنگام و آموزش دیگر هنگام و گروه مقایسه‌ای وجود داشته است. این نتیجه‌گیری به وسیله این حقیقت که گروه‌ها از نظر سال‌های تجربه، آموزش‌های رسمی و تمرین فعلی همسان‌سازی شده بودند، تقویت می‌شود. باین‌حال، تفاوت‌های فردی؛ یعنی اُفت و خیر عملکرد هر فرد موضوعی است که نوعی محدودیت محسوب می‌شود و ممکن است تک‌تک افراد گروه آموزش زود هنگام بر گروه آموزش دیر هنگام برتری نداشته باشند. بنابراین، این احتمال وجود دارد که عوامل دیگری وجود داشته باشد که ما آن‌ها را کنترل و بررسی نکرده‌ایم از مهم‌ترین آن‌ها توانایی حرکتی اولیه است. توانایی اولیه ممکن است به‌طور بالقوه به دو عامل مربوط باشد: ۱- تفاوت‌های ژنتیکی در کنترل حرکتی مرکزی و محیطی یا توانایی‌های شناختی عمومی مانند توجه پایدار و ۲- تفاوت‌های فردی در انگیزه و یا محیط. بنابراین، استعداد ژنتیکی برای پرورش زود هنگام مهارت‌های حرکتی و یا توانایی توجه پایدار، می‌تواند زمینه‌ساز تمایل زود هنگام برای شروع آموزش زودتر و کسب مزایای بیشتر از تمرین باشد و مهم‌تر این‌که انگیزه به‌شدت می‌تواند یادگیری و شکل‌پذیری (پلاستیسیته) را تحت‌تأثیر قرار دهد، به‌طوری که این موضوع در آزمایش‌های متعددی ثابت شده است (بیتل، اشینر، چیونگ، وانگ و مرزنیچ، ۲۰۰۳؛ کنودوسن، ۲۰۰۴). بنابراین، کودکان با انگیزه درونی بیشتر و با انگیزه بیشتر در خانواده، می‌توانند یادگیری حرکتی را زودتر شروع کرده و بهتر یاد بگیرند. در نهایت، عوامل محیطی مانند دسترسی به آموزش و تجربیات تمرینی و حمایت خانواده برای تداوم در آموزش مهارت‌های حرکتی نیز می‌تواند نقش مهمی را بازی کنند.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد بین گروه‌های آموزش زود هنگام، آموزش دیر هنگام و گروه کنترل در مرحله اکتساب و یادداری از نظر سرعت پاسخ‌دهی (متغیر زمان پاسخ) و درصد پاسخ‌های صحیح (دقت پاسخ) تکلیف توالی حرکتی تفاوت معنادار وجود داشت و این تفاوت به نفع گروه آموزش زود هنگام بود. با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر، می‌توان گفت ممکن است یک دوره حساس در دوران کودکی (قبل از هفت سالگی) وجود داشته باشد که در آن با غنی‌تر کردن آموزش حرکتی از طریق تمرین و تجربه، بتوان بهبود عملکرد حرکتی را در مراحل بعدی زندگی تقویت کرد و زمینه ایجاد اثرات طولانی مدت بر عملکرد حرکتی در دامنه‌ای از تکالیف حرکتی مختلف را فراهم نمود.

سپاسگزاری

از تمام دانشجویان و آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نماییم.

## References

- Ashe, J., Lungu, O. V., Basford, A. T., & Lu, X. (2006). Cortical control of motor sequences. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(2), 213-221.

- Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2010). Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians. *Experimental Brain Research*, 204(1), 91-101.
- Bailey, J., & Penhune, V. B. (2012). A sensitive period for musical training: contributions of age of onset and cognitive abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 163-170.
- Beitel, R. E., Schreiner, C. E., Cheung, S. W., Wang, X., & Merzenich, M. (2003). Reward-dependent plasticity in the primary auditory cortex of adult monkeys trained to discriminate temporally modulated signals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(19), 11070-11075.
- Casey, B., Giedd, J., & Thomas, K. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1-3), 241-257.
- Costa-Giomi, E., Gilmour, R., Siddell, J., & Lefebvre, E. (2001). Absolute pitch, early musical instruction and spatial abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 394-396
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structure differences between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245.
- Green, R. E., & Shanks, D. R. (1993). On the existence of independent explicit and implicit learning systems: An examination of some evidence. *Memory & Cognition*, 21(3), 304-317.
- Hansel, C. (2019). Deregulation of synaptic plasticity in autism. *Neuroscience Letters*, 688, 58-61.
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412-1425.
- Koeneke, S., Lutz, K., Wüstenberg, T., & Jäncke, L. (2004). Long-term training affects cerebellar processing in skilled keyboard players. *Neuroreport*, 15(8), 1279-1282.
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological Foundations of Language*. New York: Wiley), pp. 397-416.
- Luby, J. L., Belden, A., Harms, M. P., Tillman, R., & Barch, D. M. (2016). Preschool is a sensitive period for the influence of maternal support on the trajectory of hippocampal development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(20), 5742-5747.
- McMorris, T. (2014). *Acquisition and performance of sports skills*. John Wiley & Sons.
- Miyazaki, K. I., & Rakowski, A. (2002). Recognition of notated melodies by possessors and nonpossessors of absolute pitch. *Perception & Psychophysics*, 64(8), 1337-1345.
- Moisello, C., Crupi, D., Tunik, E., Quartarone, A., Bove, M., Tononi, G., & Ghilardi, M. F. (2009). The serial reaction time task revisited: a study on motor sequence

- learning with an arm-reaching task. *Experimental Brain Research*. 194(1), 143-155.
- Nejati, V., Garusi Farshi, M. T., Ashayeri, H., & Aghdasi, M. T. (2007). Dual task interference in youth and elderly in explicit and implicit sequence learning. *International Journal of Geriatric Psychiatry*. 23(8), 801-804.
- Nicholas, J. G., & Geers, A. E. (2007). Will they catch up? The role of age at cochlear implantation in the spoken language development of children with severe to profound hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 50(34), 1048-1062.
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*. 19(1), 1-32.
- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2017). *Human motor development: A lifespan approach*. Routledge.
- Penhune, V. B. (2011). Sensitive periods in human development: evidence from musical training. *Cortex*. 47(9), 1126-1137.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., & Feindel, W. H. (1999). The role of auditory cortex in retention of rhythmic patterns as studied in patients with temporal lobe removals including Heschl's gyrus. *Neuropsychologia*. 37(3), 315-331.
- Salehi, S. K., Sheikh, M., Hemayattalab, R., & Humaneyan, D. (2016). The effect of different ages levels and explicit-implicit knowledge on motor sequence learning. *International Journal of Environmental and Science Education*. 11(18), 13157-65.
- Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. (2005). The effects of practice and delay on motor skill learning and retention. *Experimental Brain Research*. 161(4), 423-431.
- Savion-Lemieux, T., Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2009). Developmental contributions to motor sequence learning. *Experimental Brain Research*. 195(2), 293-306.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*. 5(7), 688-694.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E., & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *Journal of Neuroscience*. 24(38), 8223-8231.
- Thomas, K. M., & Nelson, C. A. (2001). Serial reaction time learning in preschool- and school-age children. *Journal of Experimental Child Psychology*. 79(4), 364-387.
- Tober, C. L., & Pollak, S. D. (2005). Motor development of post-institutionalized children across time. In *Biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Atlanta, GA*.
- Walker, M. P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and Brain Sciences*. 28(1), 51-64.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Sleep and the time course of motor skill learning. *Learning & Memory*.

10(4), 275-284.

- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*. 176(2), 332-340.
- Weber-Fox, C., & Neville, H. J. (2001). Sensitive periods differentiate processing of open-and closed-class words. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 44(1), 1338-1353
- Zatorre, R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature Neuroscience*. 6(7), 692-695.