

رشد و یادگیری حرکتی - ورزشی - پاییز ۱۳۹۲  
شماره ۱۳ - صص: ۷۹ - ۱۰۲  
تاریخ دریافت: ۲۵ / ۰۲ / ۹۱  
تاریخ تصویب: ۱۰ / ۰۸ / ۹۱

## تفاوت های رشدی - تکاملی در یادگیری توالی حرکتی : رویکرد یادگیری تکلیف مبتنی بر رشد حرکتی

۱. سید کاوس صالحی<sup>۱</sup> - ۲. داود حومینیان - ۳. مهدی زرغامی - ۴. صادق ستاری فرد  
۱. کارشناس ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲. استادیار دانشگاه تهران، ۳. دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴. کارشناس ارشد دانشگاه تهران

### چکیده

یادگیری تکلیف حرکتی یکی از مؤلفه های اساسی تجربیات بشر و مجموعه ای از فرایندهای حسی، شناختی و حرکتی می باشد. بسیاری از رفتارهای پیچیده حرکتی بر اساس نوعی ترتیب یا توالی انجام می شوند. هدف از مطالعه حاضر بررسی تفاوت های رشدی تکاملی در یادگیری توالی حرکتی در سه نمونه مقطعی از کودکان با دامنه سنی ۷، ۸ و ۱۰ سال و یک گروه گواه از بزرگسالان بوده است. برای این منظور، ابتدا نرم افزار تخصصی ارائه محرک های متوالی، ثبت زمان و خطای پاسخ در محیط برنامه نویسی C<sup>++</sup> طراحی شد. در این تحقیق ۴۸ نفر آزمودنی راست دست (سه گروه ۱۲ نفری از کودکان و یک گروه گواه ۱۲ نفری از بزرگسالان)، سالم از نظر سیستم عصبی و بدون تجربه قبلی با تکلیف مورد نظر شرکت داشتند. کل مداخله شامل ۱۰ مرحله بود که ۸ مرحله به اکتساب توالی ها و دو مرحله به آزمون یادداری اختصاص داشت. عملکرد با بررسی تغییرات در دقت و هماهنگی پاسخ اندازه گیری شد. داده ها با استفاده از روش های آماری تحلیل واریانس عاملی و آزمون کولموگروف-اسمیرنف تجزیه و تحلیل شد. نتایج یک پیشرفت رشدی در یادگیری توالی حرکتی برای گروه ها را نشان داد. به طور قابل توجهی در دو جزء دقت پاسخ و هماهنگی پاسخ، مسیرهای رشدی متفاوتی نشان داده شد. برای مؤلفه دقت پاسخ، در دو گروه ۷ و ۸ ساله ها در مرحله اکتساب نسبت به بزرگسالان و ۱۰ ساله ها تفاوت معنی دار وجود داشت، اما بین بزرگسالان و ده ساله ها تفاوت معنی دار وجود نداشت. برای مؤلفه هماهنگی پاسخ، بزرگسالان هماهنگ تر از همه گروه ها و ۱۰ ساله ها از ۶ ساله ها سریعتر به محرک ها پاسخ دادند. در آزمون یادداری نیز برای دقت پاسخ ۱۰ ساله ها مشابه بزرگسالان و برای هماهنگی پاسخ بزرگسالان از همه گروه ها هماهنگ تر بودند اما گروه ۷ ساله ها نسبت به بقیه گروه ها تأخیر در هماهنگی پاسخ داشتند. به طور کلی تفاوت مشاهده شده بین گروه ها در دقت و هماهنگی پاسخ در این تحقیق با نظریه ای منطبق است که بیان می کند دقت ممکن است متکی بر مسیرهای قشری باشد که بیشترین بالیدگی آنها بین سنین ۷ تا ۱۰ حاصل می شود، هماهنگی ممکن است متکی بر مسیرهای زیرقشری باشد که تا نوجوانی و جوانی، تکامل آنها ادامه دارد. با توجه به یافته ها از یک طرف یادگیری حرکتی متأثر از جنبه های مختلف رشد حرکتی است و از طرف دیگر در یادگیری اجزاء مختلف یک تکلیف، پارامترهایی که به لحاظ کنترل حرکتی دشوارترند (مانند هماهنگی پاسخ) در یک پروسه طولانی تر یاد گرفته و یادآوری می شوند.

### واژه های کلیدی

یادگیری مهارت های حرکتی، کودکان، دوره های بحرانی، زمان عکس العمل متوالی.

### مقدمه

یادگیری حرکتی یکی از جلوه‌های مختلف رفتار و شامل مجموعه‌ای از فرایندهای حسی، شناختی و حرکتی است که از تعامل فرد، محیط و تکلیف حرکتی بروز می‌کند (۱۱). در یادگیری به‌طور عام و یادگیری حرکتی به‌طور خاص در صورتی که به یادگیرنده در مورد هدف و تکلیف مورد نظر اطلاعات لازم داده شود، این یادگیری از نوع صریح یا آشکار است، اما اگر به یادگیرنده در مورد هدف و تکلیف مورد نظر اطلاعات لازم داده نشود، یادگیری از نوع ضمنی یا تلویحی خواهد بود (۸).

یکی از حالت‌های یادگیری حرکتی، یادگیری توالی حرکتی است که بخش اساسی و مهم زندگی است. توالی حرکتی اساس بسیاری از رفتارهای هوشمندانه و پیچیده انسان است، چرا که تقریباً هر علمی براساس ترتیب یا توالی مشخصی صورت می‌گیرد. هنگامی که ورزشکاری مهارتی را انجام می‌دهد یا ژیمناستی یک روتین ژیمناستیک را اجرا می‌کند یا هنگامی که فردی در عمل ساده شماره تلفنی را می‌گیرد، فرایند یادگیری شامل دو قسمت مشخص است، یکی یادگیری ترتیب عناصر و اجزای موجود در توالی و دیگری توانایی انجام توالی، به این ترتیب در توالی حرکتی ترکیب اجزای حرکت به‌صورت واحد و یکپارچه و نمایش هماهنگ آن، مهارت محسوب می‌شود که فرایند ایجاد این مهارت در یادگیری حرکتی بررسی می‌شود (۸).

یادگیری هر حرکت جدید مستلزم مشارکت در فرایند است. یکی راهبردی که در پرتو آن تعیین می‌شود چه حرکاتی باید انجام گیرد و دیگری دوره مهارت حرکتی که در آن تناسب بین حرکات آموخته‌شده جهت کارایی بهینه صورت می‌پذیرد (۵).

منابع متعددی عنوان کرده‌اند که مهارت‌های حرکتی در همه جای زندگی روزمره حضور دارند. اگرچه مهارت‌های مشخصی مانند راه رفتن تا درجه زیادی ذاتی و غریزی، یعنی با منشأ ژنتیکی و خود متمایز شده‌اند. بیشتر مهارت‌ها مانند نوشتن و نواختن از طریق تمرین آموخته می‌شوند و تسلط در آنها به تمرین و تجربه نیاز دارد (۲۶).

یکی از مهم‌ترین ابزارهایی که در مطالعات رفتاری برای بررسی عملکردهای یادگیری استفاده می‌شود، زمان واکنش متوالی است که توسط نیسن و بولمر<sup>۱</sup> مطرح شد. در این مورد محرک هدف در چندین محل فضایی با ترتیبی منظم یا نامنظم (تصادفی) ظاهر می‌شود و مشارکت‌کنندگان باید هرچه سریع‌تر با فشار دادن کلید مرتبط با محل تحریک پاسخ دهند (۵). 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 محل ظهور محرک‌ها (یادگیری ترتیب توالی‌ها) و کاهش خطا (افزایش دقت اجرای تکلیف) است.

در دهه گذشته تحقیقات متعددی زیربناها و جنبه‌های رفتاری و عصبی یادگیری مهارت حرکتی در بزرگسالان را بررسی کرده‌اند (۲۳، ۱۹، ۱۷، ۱۰، ۵). با وجود این درباره اینکه کودکان چگونه مهارت‌های حرکتی جدید را یاد می‌گیرند، اطلاعات اندکی وجود دارد. به ویژه روشن نشده اگر مراحل یادگیری یکسانی در بزرگسالان مشاهده شود، آیا در کودکان نیز همان مراحل وجود دارند یا خیر؟ همچنین مشخص نشده آیا الگوی یادگیری در طول رشد یکسان و ثابت است یا خیر؟

به‌طور کلی یادگیری به‌وسیله سه مرحله مشخص می‌شود که مشابه نقاط مخصوص در تغییرات الگوی نمودی هستند که هنگام تمرین یک توالی یا تکلیف جدید اتفاق می‌افتند (۱۸).

در اولین جلسه تمرین پیشرفت‌های سریع و زیادی در عملکرد یادگیرندگان اغلب در کوشش‌های تمرینی نسبتاً کوچک مشاهده می‌شود و حرکات ناشیانه و خام از خصوصیات اصلی این مرحله به حساب می‌آید. دومین مرحله، مرحله تداعی است که به اکتساب طرح یا الگوی حرکت و تثبیت یادگیری و تمرکز روی تکلیف می‌انجامد (۱۸)، (۱).

سومین مرحله، مرحله خودکاری است که پس از چندین جلسه تمرین و کوشش اتفاق می‌افتد. ویژگی اصلی مرحله خودکاری، انجام دادن تکالیف به‌صورت نرم و روان و بدون شتاب و استفاده از راهبردهاست. این مرحله از طریق فواید تدریجی‌تر و آهسته مشخص می‌شود که به فلات احتمالی د راجرا می‌انجامد (۳۴، ۲۴، ۱۷).

حمایت از وجود مراحل قابل تفکیک و مجزای یادگیری حرکتی و ماهیت همپوشانی آنها از مطالعات تصویرنگاری عملکردی مغز که نشان می‌دهد مناطق قشری و زیرقشری به‌طور مشخصی در مراحل مختلف یادگیری فعالند، ناشی می‌شود (۱۷). برای نمونه مشخص شده که مخچه، جسم مخطط شاخی، همچنین مناطق پیش‌حرکتی و قشری آهیانه‌ای در طول یادگیری اولیه فعالند و جسم دمدار و همچنین مناطق قشری آهیانه‌ای و حرکتی، در تثبیت یادگیری و مرحله خودکاری دخالت دارند (۲۲).

تعداد زیادی از تحقیقات با موضوع رشد حرکتی روی یادگیری مهارت‌های پایه مانند بندکشی، لی لی کردن و هدفگیری تمرکز کرده‌اند (۶). به‌طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهند که با افزایش سن و با تمرین مهارت‌های حرکتی پایه با مهارت و چالاکی بهتر، تغییرپذیری کمتر، همچنین افزایش سرعت و دقت انجام می‌گیرند. با این حال تحقیقات کمتری به مهارت‌های حرکتی ظریف (مهارت‌های مستلزم عمل عضلات درگیر در هماهنگی چشم و دست مانند نواختن موسیقی، نخ سوزن کردن و تایپ کردن) پرداخته‌اند (۲۱).

پژوهش‌ها در مورد یادگیری کودکان از الگوهای متفاوتی برای بررسی یادگیری رشد محور استفاده کرده‌اند.

میولمانز و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) در تحقیقی با عنوان «یادگیری توالی حرکتی در کودکان» گزارش کردند که تغییرات وابسته به سن بین بزرگسالان و کودکان ۱۰ - ۶ ساله معنادار بود. همچنین کودکان در سن مدرسه این قابلیت را دارند که حتی بدون آگاهی از قواعد ساختاری تکلیف، در آن مهارت پیدا کنند (۲۱).

توماس و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۱) در تحقیقی زمان واکنش زنجیره‌ای را در کودکان پیش‌دبستانی و دبستانی بررسی کردند. نتایج آنها نوعی پیشرفت وابسته به سن در یادگیری تکلیف ادراکی حرکتی را نشان داد. همچنین مشخص شد که یادگیری کودکان پیش‌دبستانی کندتر و متفاوت با کودکان در سن مدرسه بود (۲۹).

دورف برگر و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) با استفاده از تکلیف انگشت زدن به انگشت شست در توالی مشخص، توانایی یادگیری، همزمانی و هماهنگی را در کودکان نشان داد. علاوه بر این نتیجه گرفت که اکتساب تکلیف در کودکان مشابه با بزرگسالان بود، اما در مرحله یادداری کودکان عملکرد بهتری داشتند (۹).

1 . Meulemans & et al

2 . Thomas & et al

3 . Dorfberger & et al

فیسچر و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) در اجرای یک نوع ضمنی از تکلیف زمان واکنش متوالی به مقایسه کودکان و بزرگسالان پرداخت و نشان داد زمانی که آزمودنی‌ها بدون آگاهی از قواعد موجود در تکلیف، آن را انجام می‌دادند، در مرحله اکتساب یادگیری کودکان مشابه بزرگسالان بود، اما در مرحله یادداری کودکان تحکیم ضعیف‌تری از یادداری تکلیف را نشان دادند (۱۳).

ساوین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) در تحقیقی کمک‌های رشدی را در یادگیری یک تکلیف بصری - حرکتی بررسی کردند. نتایج آنها پیشرفت رشدی را در طول تمرین نشان داد، به طوری که بیشترین تفاوت‌ها در ابتدای تمرین مربوط به کودکان بود اما در مرحله یادداری هر دو کودکان و بزرگسالان پیشرفت مشابهی را نشان دادند (۲۶).

بیلی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) در پژوهشی هماهنگی عملکرد و حافظه کاری شنوایی را در نوازنده‌های زود تمرین کرده و دیر تمرین کرده بررسی کردند. نتایج نشان داد نوازنده‌هایی که تمرین موسیقی را قبل از ۷ سالگی شروع می‌کنند، تکلیف دیداری - حرکتی را بهتر از کسانی که بعد از این سن شروع می‌کنند، انجام می‌دهند. اما در آزمون‌های شناختی تفاوتی بین گروه‌ها وجود نداشت. علاوه بر این عملکرد تکلیف افراد نوازنده با توانایی‌های حافظه کاری شنوایی و سن شروع تمرین رسمی همبستگی مثبت داشت (۷).

ویرجینیا و پنهنون<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) در پژوهشی دوره‌های حساس در رشد انسان را از طریق بررسی عملکردی تصویرنگاری سیستم عصبی در نوازنده‌های کودک و بزرگسال بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ممکن است برای یادگیری موسیقی یک دوره حساس وجود داشته باشد که یادگیری موسیقی را هم از نظر تجربه حسی و هم فرایندهای شناختی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق سطح عملکرد بزرگسالان در تجربه نواختن موسیقی بیشتر از کودکان بود.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مطالعاتی که یادگیری کودکان را بررسی کرده‌اند، عوامل مختلف و نتایج متفاوتی در این زمینه گزارش کرده‌اند، علاوه بر شواهد اخیر از مطالعات تصویرنگاری عصبی مربوط به سلامت

1 . Fischer & et al

2 . Savion & et al

3 . Bailey & et al

4 . Virginia and Penhune

کودکان نشان می‌دهد که تغییرات مداوم در سیستم‌های مغزی برای یادگیری حرکتی بسیار مهم و حایز اهمیت هستند (۳۲، ۲۸، ۲۰، ۱۶). به طوری که تغییرات ناشی از بالیدگی و ریش ساختارهای مغزی با تغییرات در توانایی‌های حرکتی منطبق هستند و حالت همپوشانی دارند که نمود و بروز این تغییرات در الگوهای پیچیده رفتاری فرد ظهور پیدا می‌کند. همچنین این تحقیقات نشان می‌دهد که کنترل حرکات کودکان اغلب زیر قشری است و بزرگسالان بیشتر از مناطق قشری برای طرح‌ریزی حرکاتشان استفاده می‌کنند. از طرفی تغییرات رشدی - تکاملی در ساختارهای مغزی تا کودکی میانی و نوجوانی ادامه دارد که اوج این تغییرات (افزایش حجم ماده خاکستری، افزایش غلظت ماده سفید سیستم مغزی - نخاعی) بین ۶ الی ۱۰ سالگی رخ می‌دهد (۳۲، ۱۵). از این رو این دوره نوعی دوره حساس یا بحرانی تلقی می‌شود. چرا که در آن با رشد و بالیدگی مغز، تجارب حرکتی و شناختی کودک دستخوش تغییراتی می‌شود که بررسی جنبه‌های شناختی و رفتاری آن ضرورت و اهمیت بسیار دارد.

مطابق مبانی نظری رشد حرکتی، یک دوره حساس یا بحرانی محدوده‌ای از زمان است که فرد بیشترین تأثیر را از یک تجربه یا حادثه دارد. برای نمونه کودکی که طی توالی رشدی و گستره زمانی ۴ تا ۸ ماهگی مهارت‌های ویژه‌ای همچون دستیابی و چنگ زدن را کسب نکند، ممکن است هرگز به سطح کارایی کودکی که در این محدوده زمانی مهارت‌های یادشده را آموخته است، نرسد. این موضوع بر ضرورت توجه به دوره‌های حساس و تأثیرپذیری فرد از وقایع محیطی طی محدوده زمانی خاص تأکید دارد.

باتوجه به تعداد محدود پژوهش روی یادگیری حرکتی کودکان هدف کلی تحقیق حاضر بررسی تفاوت‌های رشدی تکاملی در یادگیری توالی حرکتی با استفاده از الگوی یکسان در سه نمونه مقطعی از کودکان ۷، ۸ و ۱۰ ساله و یک نمونه گواه از بزرگسالان است.

### روش تحقیق

این تحقیق به صورت مقطعی - مقایسه‌ای انجام گرفته است. نمونه نهایی این تحقیق شامل ۴۸ آزمودنی راست دست، سالم از نظر سیستم عصبی و بدون آشنایی و تجربه قبلی با تکلیف مورد نظر بود که به صورت

تصادفی انتخاب شدند. سه گروه ۱۲ نفری از کودکان دبستانی با دامنه سنی ۷، ۸ و ۱۰ سال و یک گروه مقایسه‌ای ۱۲ نفری با دامنه سنی ۱۸ سال در مداخله شرکت داشتند.

برای ارزیابی نمونه‌ها از پرسشنامه سلامت عمومی گلدبرگ (GHQ)<sup>۱</sup> و آزمون مختصر وضعیت روانی - شناختی فولشتاین (MMSE)<sup>۲</sup> استفاده شد.

معیار انتخاب نمونه‌ها راست دست بودن، نداشتن تجربه قبلی در تکلیف مورد نظر و محدوده سنی مشخص با استفاده از فرم مشخصات نمونه‌ها و پرسشنامه اطلاعات فردی بود. همچنین همسان بودن هر گروه از نظر سن، جنس و سطح تحصیلات لحاظ شد.

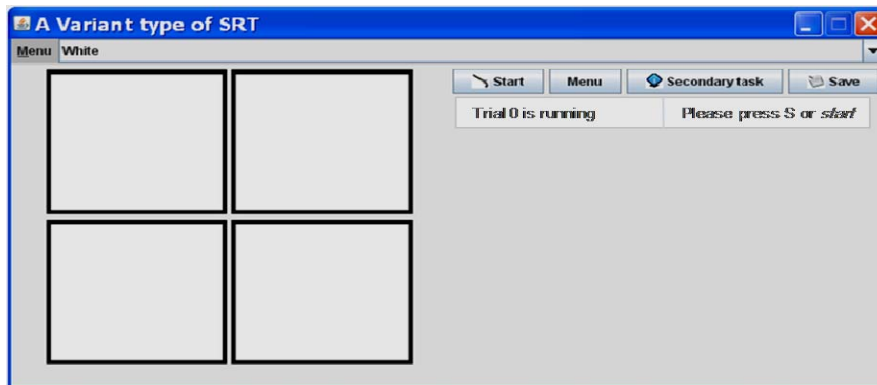
معیارهای حذف نمونه‌ها نیز شامل اختلال ادراکی و حافظه‌ای شدید (نمره کمتر از ۱۸ در آزمون مختصر روانی)، اختلال بیش‌فعالی، وجود بیماری‌های مزمن نورولوژیک به ویژه پارکینسون، وجود مشکل شدید بینایی و شنوایی، وجود پاتولوژی حرکتی در اندام فوقانی به ویژه دفورمیتی و محدودیت حرکتی مفاصل اندام فوقانی و سابقه اعتیاد به مواد مخدر بود. شایان ذکر است که کلیه افراد شرایط اعمال شده را احراز کردند. به طوری که پس از اطمینان از سلامت جسمانی - شناختی شرکت‌کنندگان، وارد فرایند یادگیری حرکتی شدند.

### ابزار اندازه‌گیری

در این تحقیق باتوجه به مشخصه‌های مورد نیاز و نوع وظیفه حرکتی نرم‌افزاری با عنوان SRT در محیط برنامه‌نویسی ++C برای تولید و کنترل اجرای محرک‌های بصری طراحی و نوشته شد. این ابزار بر مبنای طرح توماس و نلسون (۲۰۰۱) و براساس مدل نیسن و بولمر (۱۹۸۷) برای اندازه‌گیری توالی حرکتی طراحی شده است. در این نرم‌افزار چهار مربع در صفحه مانیتور در نظر گرفته شده که قابلیت به چهار رنگ سبز، زرد، قرمز و آبی را دارد و برای هریک از رنگ‌های مذکور، کلیدی روی صفحه کلید که از طریق USB به کامپیوتر وصل می‌شود، تعبیه شده است که با فشار دادن کلید مربوط به هر رنگ بلافاصله مربع بعدی ظاهر می‌شود (شکل ۱).

1 . General Health questionnaire

2 . Mini mental state examination



شکل ۱ - نمای کلی نرم افزار

نرم افزار Variant type of SRT 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 با استفاده از این نرم افزار می‌توان نوع ترتیب ارائه محرک‌ها را مشخص کرد. یا اینکه می‌توان چگونگی ارائه محرک‌ها را با رایانه تنظیم کرد. در این نرم افزار زمان استراحت توالی‌ها و بلوک‌های حرکتی قابل تنظیم است. علاوه بر این با تنظیم تکلیف ثانویه<sup>۱</sup> حروف حافظه می‌توان همزمان تکلیف دوم را نیز به تکلیف اول اضافه کرد و تعداد حروف صحیح و غلط بازخوانی شده را ثبت کرد. محرک‌ها در این ابزار به صورت توالی‌های اینترمیکس و به هم پیوسته ظاهر می‌شوند و هر محرک بلافاصله پس از پاسخ صحیح به محرک قبل ظاهر می‌شود و تا زمانی که آزمودنی پاسخ صحیح ندهد، محرک از جای خود حرکت نمی‌کند. در این ابزار، محرک‌های متوالی به تعداد مشخص تکرار می‌شود و مجموع زمان یک توالی تکلیف حرکتی اندازه‌گیری می‌شود که این مداخله به دو شکل انجام می‌پذیرد. در یک حالت محرک‌ها با ترتیب مشخص و منظم فعال می‌شوند و در حالت دیگر ترتیب محرک‌ها حالت تصادفی و نامنظم دارد. منوی این ابزار شامل چند الگوی حرکتی مختلف است. هر توالی شامل نمایش هشت مربع (تحریک) است که در اصطلاح رفتار حرکتی یک کوشش<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. تکرار ۱۰ کوشش متوالی که در مجموع ۸۰ تحریک می‌شود، یک مرحله نام دارد که در حقیقت بسته عملکردی نرم افزار محسوب می‌شود. در

1 . Secondary test

2 . Trial



تحقیق حاضر آرایش پیدایش محرک‌های مربوط به یک مرحله طوری تنظیم شده بود که از ۱۰ کوشش یک مرحله، ۸ کوشش به صورت منظم و ۲ کوشش به صورت نامنظم ظاهر شوند و کل مداخله شامل دو فاز (اکتساب و یادداری) و ۱۰ مرحله بود که طی آن نتایج گروه‌ها با هم مقایسه می‌شدند.

نحوه اجرای آزمون به این صورت بود که برای اجرا، آزمودنی روی صندلی پشتی‌دار در مقابل رایانه می‌نشست و دست خود را طوری روی میز می‌گذاشت که احساس راحتی کند و به آسانی بتواند انگشت شست خود را روی هر کدام از چهار کلید علامت‌گذاری شده با برچسب رنگی قرار دهد. از آزمودنی خواسته شد که به محض نمایش هر مربع روی صفحه کامپیوتر، کلید هم‌رنگ آن را فشار دهد. آزمایش در این فاز شامل ۸ مرحله بود که در هر مرحله کوشش‌های اول تا چهارم با الگوی منظم تکرار می‌شد (ترتیب نمایش محرک‌ها عبارت بود از: زرد، سبز، زرد، آبی، قرمز، سبز، آبی و قرمز). کوشش‌های پنجم و ششم با ترتیب تصادفی و سپس کوشش‌های هفتم تا دهم با الگوی منظم ظاهر می‌شدند و پس از پایان هر مرحله یک دقیقه استراحت در نظر گرفته می‌شد تا از خستگی احتمالی جلوگیری شود و عملکرد مطلوب باشد.

به شرکت‌کننده‌ها گفته شد که باید توالی‌های حرکتی مختلفی را یاد بگیرند و در مورد ترتیب موجود در توالی‌های حرکتی اطلاعاتی به آنها داده شد، یعنی شرکت‌کنندگان با اطلاع صریح و آگاهانه از ترتیب توالی‌ها به محرک‌ها پاسخ می‌دادند و برای همه گروه‌های تحلیلی سطح دشواری توالی‌ها و مداخله کاملاً یکسان بود. علاوه بر این آزمودنی‌ها آزمون را با انگشت نشانه دست راست انجام می‌دادند.

یک روز پس از پایان آزمون اول آزمودنی‌ها در آزمون یادداری<sup>۱</sup> شرکت کردند و در آزمون مذکور برای ارزیابی یادگیری نسبی و تعیین ثبات نسبی قابلیت به دست‌آمده ۲ مرحله (هر مرحله شامل ۱۰ کوشش و هر کوشش شامل ۸ تحریک) دیگر را انجام دادند که ترتیب موجود در توالی‌های حرکتی آنها مشابه مراحل قبل بود.

در مورد روایی و پایایی ابزار، از روش مورد استفاده در این پژوهش در تحقیقات متعدد خارجی استفاده شده و تحقیقات نشان داده است این آزمون به فرهنگ وابسته نیست (۲۴)، از طرفی نتایج به‌وسیله رایانه ثبت می‌شد که شرکت سازنده آن را طی چندین مرحله کالیبره و با کیفیت کرده بود، بنابراین خطای انسانی در ثبت دخیل

نبود. باتوجه به اینکه این ابزار اندازه‌گیری، تکلیف مورد نظر را با زمان‌سنج رایانه‌ای با دقت یک هزارم میلی‌ثانیه اندازه می‌گیرد، دارای اعتبار صوری<sup>۱</sup> است. برای تعیین ضریب پایایی ابزار و رفع مشکلات احتمالی، یک مطالعه مقدماتی با شرکت ۱۵ آزمودنی مبتدی اجرا و ضریب پایایی با روش بازآزمایی<sup>۲</sup> محاسبه شد (۲). به این صورت که آزمودنی‌ها طی دو مرحله متوالی به تکالیف ارائه محرک‌های متوالی پاسخ دادند که ضریب همبستگی محاسبه‌شده بین نمره‌های دو بار اندازه‌گیری شده ۰/۹۳ بود.

از آنجا که تکالیفی مانند تکلیف زمان واکنش متوالی، دارای دو جزء حرکتی و شناختی است و لازم است که آزمون‌شونده به یک محرک شناختی (مثلاً محرک بینایی یا شنیداری) پاسخ حرکتی دهد، افراد باید به محرک‌های مربوط به هر توالی در حداقل زمان پاسخ حرکتی می‌دادند.

در نهایت به‌منظور به حداقل رساندن پاسخ‌های قابل پیش‌بینی و به حداکثر رساندن پاسخ هماهنگ، به شرکت‌کننده‌ها گفته شده بود تا روشن شدن تحریک (نمایش محرک روی صفحه مانیتور) منتظر بمانند (۲۵).

### روش جمع‌آوری اطلاعات

نتایج هر تحریک (فاصله زمانی بین ارائه محرک تا پاسخ حرکتی)، کوشش و مرحله حرکتی و تعداد خطاهای آزمودنی‌ها به محرک‌های هدف در هر مرحله به‌صورت خودکار از طریق رایانه ثبت می‌شد. برای ارزیابی و اندازه‌گیری یادگیری حرکتی دو جنبه از حرکت بررسی شد. اولین جنبه دقت توالی است که جزئی از حرکت است که به مقدار درست بودن حرکت اشاره دارد و مستلزم ارتباط محرک بینایی با پاسخ حرکتی است و در این تحقیق تعداد پاسخ‌های صحیح معیاری از دقت یادگیری در نظر گرفته شد. دومین جنبه حرکت هماهنگی پاسخ است که جزئی از حرکت است و مستلزم یکپارچگی حسی - حرکتی و زمان-بندی آن است و در این پژوهش کاهش کلی زمان واکنش به‌عنوان معیار هماهنگی پاسخ منظور شد (۲۹).

یادگیری از طریق کاهش زمان واکنش (هماهنگی پاسخ) و کاهش تعداد پاسخ‌های غلط (افزایش درصد صحیح پاسخ) اندازه‌گیری شد. دقت به‌صورت محاسبه درصد صحیح کلیدهای فشار داده‌شده برای هر توالی در

1 . Face validity

2 . Test - retest

هر کوشش و هر مرحله محاسبه شد و هماهنگی پاسخ (واکنش هماهنگ) از طریق زمان پاسخ به محرک‌ها، میانگین همه کوشش‌ها و مراحل حرکتی برای هر نوع توالی اندازه‌گیری شد.

از آمار توصیفی برای طبقه‌بندی و تنظیم داده‌ها و تعیین میانگین، انحراف معیار، ترسیم نمودارهای مختلف و منحنی‌ها استفاده شد. برای بررسی اختلاف در نتایج متغیر وابسته، یعنی زمان واکنش و دقت پاسخ آزمودنی‌ها، داده‌ها به روش اندازه‌گیری یادگیری توالی مختلط (کوشش‌های تکراری و تصادفی) تجزیه و تحلیل شدند. به این صورت که با مقایسه عملکرد در توالی‌های تکراری و تصادفی یک معادل عددی از مرحله محاسبه و با میانگین چهارمین و هشتمین کوشش تکراری در هر مرحله مقایسه شد. داده‌ها با آزمون کلوموگروف اسمیرنوف (برای بررسی انطباق با توزیع نرمال) و برای بررسی تفاوت بین گروه‌های تحلیلی از آزمون تحلیل واریانس عاملی با اندازه‌گیری مکرر با گروه به‌عنوان عامل بین‌گروهی و نوع توالی و مرحله به‌عنوان عوامل درون‌گروهی استفاده شد. سطح آلفا برای تمامی عملیات آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

### نتایج و یافته‌های تحقیق

در مرحله اول با استفاده از شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی، داده‌های تحقیق توصیف شد. نکته برجسته در این بخش، انطباق متغیرها با توزیع نظری نرمال بود و آزمون کلوموگروف اسمیرنوف<sup>۱</sup> (K-S) نشان داد که مقدار P-Value آزمون در کلیه موارد بالاتر از سطح آلفای تعیین شده (۰/۰۵) بود که بیانگر منطبق بودن یافته‌های تحقیق با توزیع نظری نرمال است.

توالی‌های منظم در برابر توالی‌های تصادفی: اکتساب

---

1. Kolmogorov - Smirnov

جدول ۱ - نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مؤلفه دقت پاسخ در مرحله اکتساب

منبع تغییرات	مجمع مجزورات	درجه آزادی	مقدار F	مقدار P
اثر مرحله	۳/۷۶۸۳۲۱	۴/۳۱۴	۹/۲۱	۰/۰۲۱*
اثر نوع توالی	۲/۹۸۸۲۶۵	۴/۳۱۴	۴/۱۸	۰/۰۳۲*
اثر گروه	۳/۱۳۱۲۳۳	۴/۳۱۴	۸/۲۸	۰/۰۲۸*
تعامل مرحله - گروه	۲/۷۸۹۴۲۸	۴/۳۱۴	۵/۱۶	۰/۰۴۲*
تعامل توالی - مرحله	۴/۳۳۵۴۲۳	۴/۳۱۴	۴/۷۸	۰/۰۳۵*
تعامل توالی - گروه	۳/۳۱۸۵۸۵	۴/۳۱۴	۰/۰۸۹	۰/۰۶۳
تعامل توالی - مرحله - گروه	۳/۶۶۸۲۸۹	۴/۳۱۴	۰/۰۹۵	۰/۰۷۱

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، وقتی درصد صحیح در توالی‌های تکراری و تصادفی بین گروه‌ها مقایسه شد، اثر اصلی مرحله با  $P < 0/021$  معنادار بود. به عبارت دیگر، آزمودنی‌ها در طول کوشش‌ها به محرک‌ها با دقت بیشتری پاسخ می‌دادند. از طرفی مراحل ۶ و ۷ به‌طور معناداری از مراحل ۴ و ۵ دقیق‌تر بودند. همچنین اثر نوع توالی با  $P = 0/032$  معنادار بود، به طوری که توالی‌های تکراری دقیق‌تر از توالی‌های تصادفی انجام گرفته بودند. همان‌طور که پیش‌بینی شده بود، اثر اصلی گروه با  $P < 0/028$  معنادار بود. آزمون تعقیبی نشان داد که بین بزرگسالان و ۱۰ ساله‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P = 0/113$ ). در حالی که گروه‌های ۷ و ۸ ساله به‌طور معناداری با یکدیگر و با بزرگسالان و ۱۰ ساله‌ها متفاوت بودند ( $P < 0/025$ ). همچنین تعامل مرحله و گروه با  $P < 0/042$  معنادار بود. مقایسات زوجی نشان داد که گروه‌ها به‌طور معناداری در هر مرحله متفاوت از یکدیگر عمل کرده بودند. اما بزرگسالان و ۱۰ ساله‌ها مشابه عمل کردند. این قضیه بیانگر این است که سطح دقتشان از آغاز مداخله مشابه بوده است. در نهایت اثر معناداری برای نوع توالی - مرحله، توالی - گروه و نوع توالی - مرحله - تعاملات گروهی برای دقت پاسخ یافت نشد ( $P \geq 0/063$ ).

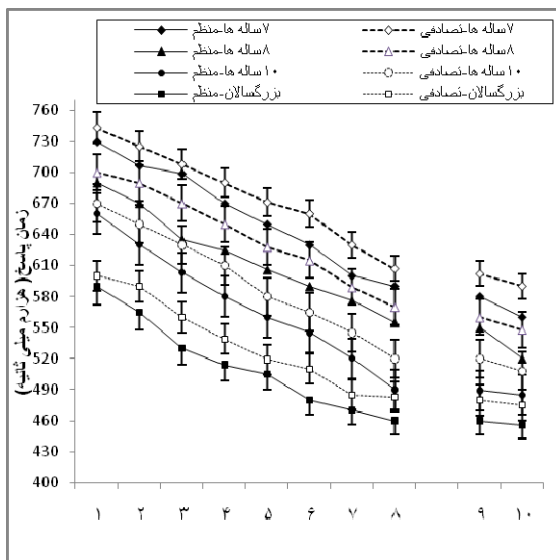
همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای زمان پاسخ، اثر اصلی مرحله با  $P < 0/024$  معنادار بود، یعنی زمان پاسخ شرکت‌کننده‌ها با تمرین در طول کوشش‌ها کمتر شده بود. همچنین اثر اصلی نوع توالی با  $P < 0/038$  معنادار

بود، به طوری که در پاسخ به کلیدها، شرکت کنندگان در توالی های تکراری از توالی های تصادفی هماهنگ تر بودند. اثر اصلی گروه نیز با  $P < 0/026$  معنادار بود. مقایسات زوجی نشان داد که بزرگسالان به طور معناداری هماهنگ تر از همه گروه های کودکان بودند ( $P > 0/008$ ). علاوه بر این پاسخ های ۱۰ ساله ها به طور معناداری هماهنگ تر از شش ساله ها بود ( $P = 0/038$ ). همچنین تعامل نوع توالی و مرحله با  $P = 0/025$  معنادار بود. آزمون تعقیبی نشان داد که در کل فشار دادن کلیدها در توالی های تکراری در تمام مراحل به طور معناداری سریع تر بود. تعامل مرحله و گروه با  $P = 0/039$  معنادار بود، به طوری که زمان پاسخ گروه بزرگسالان به طور معناداری در تمام مراحل از کودکان کمتر بود. به طور چشمگیری در مرحله ۸ بین بزرگسالان و ۱۰ ساله ها تفاوت معناداری در عملکرد حرکتی وجود نداشت ( $P = 0/121$ ) که نشان می دهد در پایان مرحله اکتساب ۱۰ ساله ها به سطح عملکرد بزرگسالان رسیدند. اثر معناداری بین نوع توالی - گروه و نوع توالی - مرحله - گروه پیدا نشد ( $P \geq 0/068$ ).

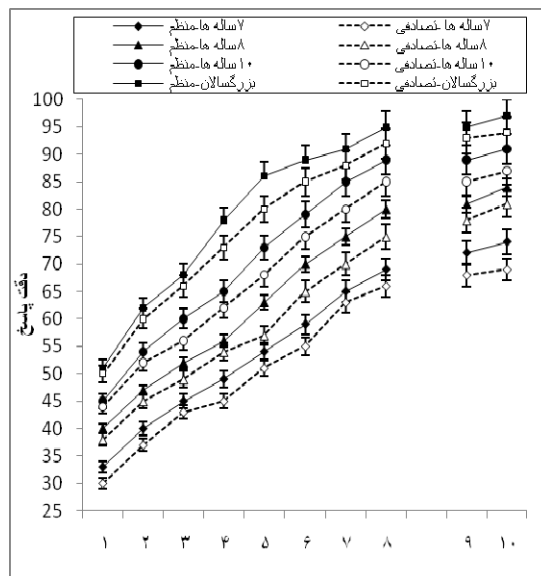
جدول ۲ - نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر برای مؤلفه زمان پاسخ

منبع تغییرات	مجمع مجذورات	درجه آزادی	مقدار F	مقدار P
اثر مرحله	۱۴/۹۰	۲/۸۹	۱۳/۲۱	۰/۰۲۴*
اثر نوع توالی	۵۶/۲۳۵	۲/۸۹	۹/۸۵	۰/۰۳۸*
اثر گروه	۱۸/۸۷۹	۲/۸۹	۱۱/۲۱	۰/۰۲۶*
تعامل مرحله - گروه	۱۳/۴۴۳	۲/۸۹	۸/۹۳	۰/۰۳۹*
تعامل توالی - مرحله	۱۱/۳۶۴	۲/۸۹	۱۲/۱۹۴	۰/۰۲۵*
تعامل توالی - گروه	۸/۹۸۷	۲/۸۹	۰/۰۲۲	۰/۰۶۳
تعامل توالی - مرحله - گروه	۱/۹۳۲	۲/۸۹	۰/۰۴۸	۰/۰۷۱

\* در سطح  $P < 0/05$  معنی دار است.



شکل ۲ - نمودار زمان پاسخ آزمودنی‌های گروه‌های مختلف در مرحله اکتساب و آزمون یادداری



شکل ۳ - نمودار دقت پاسخ آزمودنی‌های گروه‌های مختلف در مرحله اکتساب و آزمون یادداری

## توالی های منظم در مقابل توالی های تصادفی: یادداری

جدول ۳ - نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر برای مؤلفه دقت پاسخ در آزمون یادداری

منبع تغییرات	مجمع مجذورات	درجه آزادی	مقدار F	مقدار P
اثر مرحله	۲/۵۸۵	۱/۴۳	۶/۴۲	۰/۰۳۱*
اثر نوع توالی	۱۳/۷۶۹	۱/۴۳	۴/۶۲	۰/۰۲۴*
اثر گروه	۱/۲۶۳	۱/۴۳	۲/۲۶	۰/۰۲۳*
تعامل مرحله - گروه	۳/۱۱۶	۱/۴۳	۳/۷۳	۰/۰۳۹*
تعامل توالی - مرحله	۵/۷۸۸	۱/۴۳	۰/۰۲۰	۰/۰۶۳*
تعامل توالی - گروه	۶/۴۵۶	۱/۴۳	۰/۰۲۷	۰/۰۷۳
تعامل توالی - مرحله - گروه	۵/۳۶۵	۱/۴۳	۰/۰۲۳	۰/۰۶۱

\* در سطح  $P < 0.05$  معنی دار است.

برای بررسی و تعیین ثبات نسبی یادگیری حرکتی، وقتی میانگین عملکرد گروه‌ها در توالی‌های تکراری و تصادفی در طول دو مرحله انتهایی در فاز اکتساب با میانگین عملکرد گروه‌ها در توالی‌های تکراری و تصادفی در دو مرحله ابتدایی در آزمون یادداری برای درصد صحیح پاسخ مقایسه شد، اثر اصلی مرحله با  $P = 0.031$  معنادار بود که در کل یادداری را نشان داد. اثر اصلی گروه نیز با  $P < 0.023$  معنادار بود. آزمون تعقیبی نشان داد که ۶ ساله‌ها به‌طور معناداری بیشتر از دیگر گروه‌ها در پاسخ به محرک‌ها خطا کرده بودند و ۸ ساله‌ها به‌طور معناداری کم‌دقت‌تر از بزرگسالان بودند، اما ۱۰ ساله‌ها مشابه بزرگسالان بودند. همچنین سطح عملکرد ۸ ساله‌ها در این مؤلفه از حرکت مشابه ۱۰ ساله‌ها بود. اثر اصلی نوع توالی با  $P = 0.024$  معنادار بود. به‌طوری‌که توالی تکراری به‌طور دقیق‌تری از توالی‌های تصادفی انجام گرفته بود. تعامل مرحله و گروه با  $P = 0.039$  معنادار بود. آزمون تعقیبی نشان داد که فقط ۸ ساله‌ها و ۶ ساله‌ها بهبودهایی در عملکرد بین دو مرحله از خود نشان دادند. علاوه بر این مجموعه دیگری از اندازه‌گیری‌ها انجام گرفت که اثر معناداری برای تعامل نوع توالی - مرحله، نوع توالی - گروه و نوع توالی - مرحله - گروه مشاهده نشد ( $P \geq 0.113$ ).

جدول ۴ - نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مؤلفه زمان پاسخ در آزمون یادداری

منبع تغییرات	مجمع مجذورات	درجه آزادی	مقدار F	مقدار P
اثر مرحله	۱/۹۸۵	۱/۷۸	۸/۴۵۸	۰/۰۲۸*
اثر نوع توالی	۲/۲۴۸	۱/۷۸	۴/۲۶۱	۰/۰۳۲*
اثر گروه	۴/۰۱۱	۱/۷۸	۲/۰۵۴	۰/۰۱۸*
تعامل مرحله - گروه	۳/۳۱۴	۱/۷۸	۰/۰۹۸	۰/۰۸۱*
تعامل توالی - مرحله	۴/۵۸۲	۱/۷۸	۰/۰۷۳	۰/۰۶۳*
تعامل توالی - گروه	۰/۴۲۳	۱/۷۸	۰/۰۸۷	۰/۰۷۹
تعامل توالی - مرحله - گروه	۷/۵۲۶	۱/۷۸	۰/۰۴۶	۰/۰۶۶

\*در سطح  $P < 0/05$  معنی دار است.

برای هماهنگی پاسخ، وقتی مقایسه عملکرد در طول دو مرحله انتهایی در فاز اکتساب و دو مرحله ابتدایی در آزمون یادداری انجام گرفت، نتایج نشان داد اثر اصلی مرحله معنادار بود که پیشرفت‌ها و بهبودهایی در هماهنگی پاسخ در طول دو مرحله تمرینی وجود داشت که در کل یادداری را نشان می‌دهد ( $P < 0/028$ ). علاوه بر این اثر اصلی نوع توالی با  $P = 0/032$  معنادار بود، به طوری که عملکرد کلی در توالی‌های تکراری هماهنگ‌تر از توالی‌های تصادفی بود. اثر اصلی گروه نیز معنادار بود ( $P \leq 0/018$ ). مقایسات زوجی نشان داد که بزرگسالان به طور معناداری هماهنگ‌تر از گروه‌های کودکان بودند. علاوه بر این ۱۰ ساله‌ها به طور معنادارتری از ۶ ساله‌ها در پاسخ به ارائه محرک‌های متوالی هماهنگ‌تر بودند ( $P = 0/047$ ). در دیگر موارد، تعاملات برجسته و معناداری پیدا نشد ( $P = 0/064$ ).

## بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تفاوت‌های رشدی تکاملی در یادگیری توالی حرکتی در سه نمونه مقطعی از کودکان ۷، ۸ و ۱۰ ساله، و یک نمونه گواه از بزرگسالان بود. به طور کلی، نتایج نوعی پیشرفت ناشی از رشد و تکامل حرکتی را در یادگیری توالی حرکتی در درون و در طول مراحل تمرینی نشان داد. برای دو



اندازه‌گیری رفتاری، یعنی دقت و هماهنگی، پاسخ مسیرهای رشدی متفاوتی نشان داده شد. برای درصد صحیح پاسخ که نشانه وابستگی و ارتباط محرک و پاسخ است، بیشترین تفاوت‌ها برای گروه‌های ۷ و ۸ ساله بود. همچنین گروه‌های بزرگسالان بیشترین پیشرفت را در تامل مراحل تمرینی نشان دادند.

در پایان مرحله اکتساب، تنها گروه ۶ ساله‌ها نسبت به دیگر گروه‌ها در مؤلفه زمان پاسخ (هماهنگی پاسخ) عملکرد ضعیف‌تری داشتند. علاوه بر این عملکرد تمام گروه‌های کودکان در اوایل یادگیری متفاوت از بزرگسالان بود. همچنین در آزمون یادداری، گروه ۱۰ ساله‌ها به سطح عملکرد بزرگسالان رسیدند در حالی که ۶ و ۸ ساله‌ها به این سطح از عملکرد نرسیدند. فرض می‌شود که این طرح متفاوت از نتایج و پیشرفت‌های متفاوت گروه‌ها با این ایده که سیستم‌های مغزی‌ای که برای ارتباط و وابستگی محرک - پاسخ مورد نیازند، زودتر از سیستم‌هایی که در یکپارچگی حسی - حرکتی و وابستگی محرک - پاسخ مورد نیازند، زودتر از سیستم‌هایی که در یکپارچگی حسی - حرکتی و زمان‌بندی حرکت درگیرند، رشد و توسعه می‌یابند، سازگارند. این نتایج با یافته‌های فیسچر و همکاران (۲۰۰۷) و دورف برگر (۲۰۰۷) در یادداری بهتر تکلیف صریح در کودکان، همچنین با یافته‌های میولمانز و همکاران (۲۰۰۰)، ساوین و همکاران (۲۰۰۹) و بیلی و همکاران (۲۰۱۰) منطبق است.

در این تحقیق تغییرات ایجاد شده در مؤلفه دقت پاسخ بیشتر و سریع‌تر از مؤلفه هماهنگی پاسخ بود، چراکه در پایان مرحله اکتساب گروه ۱۰ ساله به سطح عملکرد بزرگسالان رسیده‌اند. عملکرد گروه‌های ۷ و ۸ ساله پیشرفت نشان داد. همچنین ۸ ساله‌ها در آزمون یادداری به سطح عملکرد ۱۰ ساله رسیدند. علت این قضیه احتمالاً یادگیری سریع ارتباط محرک و پاسخ (دقت پاسخ) است. به عبارت دیگر دقت پاسخ یک اندازه‌گیری از نقشه تحریک انگشتان یا جداسازی به موقع یک انگشت به دنبال یک محرک ویژه را نمایش می‌دهد و حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات سریع در کودکان دارد. در مقابل، هماهنگی پاسخ پارامتری دشوار در کنترل حرکتی است که یادگیری و حفظ آن مشکل است، چرا که مستلزم تمرین مداوم بوده و به شدت به یکپارچگی حسی- حرکتی و زمان‌بندی حرکت وابسته است. علاوه بر این، تحقیقات قبلی پیشنهاد می‌کنند که عوامل و پارامترهای مختلف توالی حرکتی به احتمال زیاد در سیستم‌های جداگانه اما در تعامل کسب می‌شوند (۲۷، ۱۷).

در تحقیق حاضر، تفاوت‌های رشدی تکاملی یافت‌شده برای دو مؤلفه از یادگیری توالی حرکتی با تغییرات وابسته به سن در قابلیت حرکتی و بالیدگی زمانی مسیرهای حرکتی در مغز سازگارند. یافته‌های حاصل از

مطالعات تصویربرداری عصبی - ساختاری اخیر نشان داده‌اند که تغییرات ویژه در تراکم ماده سفید و خاکستری و مناطق حسی اولیه و حرکتی مغز، زودتر رشد می‌کنند و تکامل می‌یابند. از طرفی ارتباط مناطق پیشانی و گیجگاهی - آهیانه‌ای دیرتر توسعه و تکامل می‌یابند (۳۲، ۲۸، ۱۵). به‌ویژه، این تحقیقات نشان می‌دهد که حجم کلی ماده خاکستری تا حدود ۱۰ - ۶ سالگی افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. این کاهش تا حدودی نتیجه افزایش در ماده سفید مغز است (۳۲، ۲۸، ۱۶). به‌طور ویژه‌تر پژوهش‌ها نشان داده‌اند افزایش در غلظت ماده سفید سیستم مغزی نخاعی بین کودکی و نوجوانی اتفاق می‌افتد (۳۲). فرض شده که این افزایش ممکن است به کاهش زمان هدایت عصبی که با رشد و تکامل مشاهده می‌شود همراه باشد. ممکن است به پدیده‌های رفتاری مانند کاهش زمان واکنش و افزایش کنترل حرکتی مهارت‌های حرکتی ظریف در طول دوران کودکی منجر شود (۱۵). علاوه بر تغییر در مسیرهای حرکتی قشر مغز، مطالعات تصویربرداری ساختاری نشان داده‌اند که تغییر در مسیرهای ماده سفید جسم مخطط و در حجم کلی مخچه که تا اواخر نوجوانی هم ادامه دارد، اتفاق می‌افتد (۲۸، ۲۰). باتوجه به این موضوع، تفکیک بین دو اندازه‌گیری رفتاری از یادگیری توالی با این فرضیه سازگار است که دقت یا ارتباط انگشت - محرک، ممکن است اغلب بر بالیدگی قشر مغز که بین ۱۰ - ۶ سالگی رخ می‌دهد، متکی باشد. در حالی که زمان‌بندی حرکت و یکپارچه‌سازی حسی و حرکتی (هماهنگی پاسخ) ممکن است بر بالیدگی مسیرهای ماده سفید متکی باشد که تا نوجوانی و جوانی به رشد و بالیدگی خود ادامه می‌دهند.

در تحقیق حاضر شرکت‌کنندگان می‌بایست با انگشت اشاره دست غالب (دست راست) به محرک‌ها پاسخ می‌دادند. یک مشاهده جالب در زمان آزمایش شرکت‌کنندگان ۷، ۸ و ۱۰ ساله این بود که وقتی از آنها خواسته شد یک انگشتشان را در پاسخ به محرک بصری حرکت دهند، آنها می‌خواستند حرکت همزمانی را در انگشتان مجاور نیز ایجاد کنند. همچنین این گروه‌ها قبل از شروع تکلیف به اطلاعات و آشنایی بیشتر برای یادگیری ارتباط بین انگشت و موقعیت محرک‌ها نیاز داشتند. علت این موضوع را باید در مراحل رشد کودکان جست‌وجو کرد، چرا که تحقیقات زیادی عنوان کرده‌اند که حرکات غیرارادی و خام همچنین عملکرد ضعیف حرکات دست و اندام‌ها، از ویژگی‌های عملکرد کودکان است (۲۹، ۶). برای مثال پژوهش اخیر که ارتباط و همبستگی قشری رشد حرکتی - عصبی در کودکان را آزمایش کرده بود، نشان داد کودکان زیر ۱۰ سال اغلب حرکات را بدون هماهنگی و به‌صورت غیردقیق و ناهماهنگ انجام می‌دهند، اما زمانی که بزرگ‌تر می‌شوند، سرعت انگشتانشان

سریع تر می شود و حرکات بازتابی یا انعکاسی کمتری را انجام می دهند که نشان دهنده کنترل حرکتی بهتر آنهاست (۱۵). پیشنهاد شده که این تغییر و تحول رشدی در کنترل حرکتی، همزمان با تغییرات بالیدگی قشر حرکتی مغز و مسیر قشری - نخاعی سیستم عصبی اتفاق می افتد (۲۹).

در پژوهش حاضر از تکلیف یکسانی برای مقایسه تفاوت گروهها در یک طرح و الگوی رایج استفاده شد و معلوم شد که گروهها با تمرین پیشرفت کرده اند، اما در اندازه گیری مؤلفه دقت پاسخ در بزرگسالان و ۱۰ سالهها آثار سقف وجود داشت. بنابراین، این موضوع که اگر همه گروهها سطح عملکرد یکسانی داشته باشند، میزان تفاوت های یادگیری در هر دو اندازه گیری رفتاری مشابه خواهد بود، به روشنی در این تحقیق مشخص نیست.

در پژوهش حاضر، در آزمون یادداری، پیشرفت های مشاهده شده در مؤلفه دقت پاسخ بیشتر از مؤلفه هماهنگی پاسخ بوده است، زیرا مطابق نظر لیمکس و همکاران (۲۰۰۸) دقت یک اندازه گیری از ارتباط صریح و روشن محرک - پاسخ است و این جنبه از کنترل حرکتی را منعکس می کند که اکتساب آن به آسانی صورت می گیرد، در حالی که در هماهنگی پاسخ با یکپارچگی حسی - حرکتی و زمان بندی حرکت به علت پیچیدگی در عملیات پردازشی، ممکن است عوامل ضمنی که یادگیری و یادداری تکلیف را مشکل می سازند نیز دخالت داشته باشند که این قضیه ممکن است روی عملکرد حرکتی تأثیر زیادی داشته باشد (۲۶).

در حوزه های دیگر اکتساب مهارت ها مانند رشد مهارت های حرکتی درشت (زمخت) و یادگیری زبان، شواهد نشان می دهد که ممکن است برای یادگیری مطلوب و بهینه مهارت های خاصی، دوره های حساس<sup>۱</sup> وجود داشته باشد. کنودسن (۲۰۰۴)، اصطلاح دوره های حساس را به عنوان مفهومی در رشد و تکامل به کار می برد که به موجب آن در زمان خاصی تأثیر تجربه بر مغز بسیار زیاد می شود، به طوری که ظرفیت های ویژه ای به سرعت در فرد شکل می گیرند یا از طریق تغییر در ساختارهای شناختی و حرکتی، تجربه دچار تغییر و دگرگونی می شود (۳۲). شواهد برای دوره های حساس در انسان اغلب از حوزه اکتساب زبان به وجود می آید که نشان می دهد تسلط بر زبان دوم در افرادی که قبل از بلوغ در معرض زبان دوم قرار می گیرند، بیشتر و معنادارتر است (۲۶). در حیطه حرکتی، در مورد موضوع دوره های حساس خیلی کم بحث شده است. نتایج تحقیقی روی کودکان یتیم که به شدت از نظر تجارب حرکتی در دوره کودکی اولیه محدود شده بودند، اختلال دقیق این کودکان در

---

1. Sensitive periods

مهارت‌های حرکتی ظریف و درشت را تأیید کرد که نشان می‌دهد محرومیت طی دوره‌های حساس می‌تواند به اختلال حرکتی طولانی‌مدت منجر شود (۳۰). اخیراً در پژوهشی عنوان شده نوازنده‌هایی که تمریناتشان را قبل از ۷ سالگی شروع می‌کنند، به‌طور معناداری تکلیف توالی حرکتی را در مقایسه با کسانی که تمریناتشان را بعد از ۷ سالگی شروع می‌کنند، بهتر انجام می‌دهند (۳۱). در مجموع این نتایج نشان می‌دهد که ممکن است یک دوره حساس در دوران کودکی برای یادگیری بهینه برخی از مهارت‌های حرکتی وجود داشته باشد. باتوجه به طرح متفاوت از نتایج و پیشرفت‌های متفاوت گروه‌ها در تحقیق حاضر می‌توان گفت که ۷ الی ۱۰ سالگی نوعی دوره حساسی بحرانی برای کودک تلقی می‌شود، چرا که در این دوره تغییراتی در ساختارهای سیستم عصبی اتفاق می‌افتد. به‌طوری‌که قسمت‌های مختلف سیستم عصبی که ویژه پردازش اطلاعات در فرایند یادگیری هستند (سیستم‌های نوروترانسمیتری در نواحی مختلف مغز به‌ویژه هیپوکامپ و آمیگدال) به حداکثر ظرفیت و رسش خود می‌رسند (۷، ۳).

به‌طور خلاصه نتایج این پژوهش روش جدیدی از ارزیابی تغییرات رشدی در یادگیری توالی حرکتی را با استفاده از شکل دیگری از تکلیف زمان واکنش متوالی ارائه می‌کند. در کل براساس پیشرفت متفاوت گروه‌ها در دو جنبه از یادگیری حرکتی (دقت و هماهنگی) پیشنهاد می‌شود که یادگیری باید در سطح اندازه‌گیری‌های رفتاری در نظر گرفته شود، چراکه هر اندازه‌گیری یک مؤلفه از توالی حرکتی را نمایش می‌دهد. یافته‌هایی که عملکرد ضعیف دو گروه ۶ و ۸ ساله نسبت به بزرگسالان را نشان داد، با فرضیه‌ای که بیان می‌کند کنترل حرکتی پایه انگشتان ممکن است اغلب بر بالیدگی قشری متکی باشد که در سال‌های اول کودکی شروع به رشد می‌کند، سازگار است. در مقابل یافته‌هایی که هماهنگی پاسخ آهسته و پیشرونده‌ای را برای همه گروه‌ها نشان داد، پیشنهاد می‌کند که یکپارچگی حسی - حرکتی و زمان‌بندی حرکت ممکن است بر بالیدگی مسیرهای ماده سفید متکی باشد که تا نوجوانی به رشد و تکامل خود ادامه می‌دهند.

باتوجه به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان گفت از یک طرف یادگیری حرکتی متأثر از جنبه‌های مختلف رشد و رسش حرکتی است و از طرف دیگر در یادگیری اجزا و عناصر مختلف و در تعامل یک تکلیف، پارامترهایی که به لحاظ کنترل حرکتی دشوارترند (برای مثال هماهنگی پاسخ)، در یک پروسه طولانی‌تر یاد گرفته‌شده و به یادآورده می‌شوند. نتیجه اینکه در ۷ تا ۱۰ سالگی تغییرات تکاملی زیادی در ساختارها و

سیستم‌های مغزی و کنترلی اتفاق می‌افتد که اساس بسیاری از رفتارهای آگاهانه و پیچیده انسان را تشکیل می‌دهند. این دوره بحرانی زمان مناسبی برای شروع یادگیری بسیاری از تکالیف حرکتی است.

باتوجه به اینکه پژوهش‌های متعددی در زمینه توانایی کنترل حرکات ظریف در بزرگسالان وجود دارد، در مورد تغییرات ناشی از رشد و تکامل در این توانایی‌ها در کودکان تحقیقات بسیار کمی موجود است. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی به‌نحوی طراحی شوند که این پدیده (کنترل حرکتی) را در کودکان به‌منظور درک بهتر رابطه بین عملکرد حرکتی و کنترل حرکتی در طول رشد کشف کنند.

## منابع و مأخذ

۱. اشمیت، ریچارد. ای. لی، تیموتی، دی. (۱۳۸۷). "یادگیری و کنترل حرکتی". ترجمه دکتر رسول حمایت‌طلب و عبدالله قاسمی، تهران، انتشارات علم و حرکت.
۲. حومینیان، داود. و همکاران. (۱۳۸۴). "اثر شیوه‌های مختلف تمرین ذهنی بر زمان واکنش زنجیره‌ای". نشریه حرکت، شماره ۳۴، ص ۱۲۵ - ۱۰۹.
۳. خواجه پور، لطف اله و همکاران. (۱۳۸۸). "دخالتهای گیرنده‌های موسکارتینی آمیگدال مرکزی در فراموشی ناشی از مورفین". نشریه فیزیولوژی و فارماکولوژی، شماره ۱۳، ص ۳۵۲ - ۳۴۰.
۴. عبدلی، بهروز. (۱۳۸۴). "مقایسه یادگیری پنهان و آشکار بر زمان واکنش زنجیره‌ای". نشریه حرکت، شماره ۱۹، ص ۴۰ - ۲۳.
۵. نجاتی، وحید. (۱۳۸۵). "بررسی مقایسه‌ای یادگیری توالی حرکتی مشخص در جوانان و سالمندان". مجله سالمندی، شماره ۲، ص ۲۹۲ - ۲۸۶.

6. Badan M, Hauert C-A, Mounoud P. (2000). "Sequential pointing in children and adults". *J Exp Child Psychol.* 75: PP:43-69.

7. Bailey, Virginia B, Penhune. (2010). "Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians". *Experimental Brain Research* 186:222-240.

8. Clara Moisello · Domenica Crupi. (2009). "The serial reaction time task revisited: a study on motor sequence learning with an arm-reaching task". *Exp Brain Resarch* 194: PP:143-155.

9. Dorflberger S, Adi-Japha E, Karni A. (2007). "Reduced susceptibility to interference in the consolidation of motor memory before adolescence". *PLoS ONE* 2:e240.

10. Doyon J, Benali H. (2005). "Reorganization and plasticity in the adult human brain during learning of motor skills". *Curr Opin Neurobiol* 15: PP:161-167.

11. Emily S. Cross, Paul J. Schmitt, and Scott T. Grafton. (2007). "Neural Substrates of Contextual Interference during". *Motor Learning Support a Model of Active Preparation. J Motor Behavior*. 142:PP:85-101.

12. Felice Ghilardi, Clara Moisello. (2009). "Learning of a Sequential Motor Skill Comprises Explicit and Implicit Components That Consolidate Differently". *J Neurophysiol* 101: PP:2218-2229.

13. Fischer S, Wilhelm I, Born J. (2007). "Developmental differences in sleep's role for implicit offline learning: comparing children with adults". *J Cogn Neurosci* 19: PP:214-227.

14. Floyer-Lea A, Matthews P. (2005). "Distinguishable brain activation networks for short- and long-term motor skill learning". *J Neurophysiol* 94: PP:512-518.

15. Garvey M, Ziemann U, Bartko. (2003). "Cortical correlates of neuromotor development in healthy children". *Clin Neurophysiol* 114: PP:1662-1670.

16. Gogtay N, Giedd J, Lusk L, Hayashi K, Greenstein D, Vaituzis A, Nugent T, Merman D, Clasen L, Toga A, Rapoport J, Thompson P. (2004). "Dynamic

---

*mapping of human cortical development during childhood and through early adulthood". Proc Natl Acad Sci USA 101: PP:8174-8179.*

17.Hikosaka O, Nakamura H, Sakai K, Nakahara H. (2002). "Central mechanisms of motor skill learning". *Curr Opin Neurobiol 12: PP:217-222.*

18.Korman M, Raz N,(2003). "Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance". *Proc Natl Acad Sci USA 100: PP:12492-12497.*

19.Krakauer J, Shadmehr R. (2006). "Consolidation of motor memory". *Trends Neurosci 29: PP:58-64.*

20.Mackie S, Shaw P, Lenroot R, Pierson R, Greenstein D, Nugent T, Sharp W, Giedd J, Rapoport J. (2007). "Cerebellar development and clinical outcome in attention deficit hyperactivity disorder". *Am J Psychiatry 164: PP:647-655.*

21.Meulemans T, Van der Linden M, Perruchet P. (1998). "Implicit sequence learning in children". *J Exp Child Psychol 69:199-221.*

22.Penhune V, Doyon J. (2002). "Dynamic cortical and subcortical networks in learning and delayed recall of timed motor sequences". *J Neurosci 22: PP:1397-1406.*

23.Robertson E, Pascual-Leone A, Miall R. (2004). "Current concepts in procedural consolidation". *Nat Rev Neurosci 5: PP:1-6.*

24.Robertson EM. (2007). "The serial reaction time task: implicit motor skill learning". *J Neuro science 27: PP:10073-10075.*

25.Savion-Lemieux T, Penhune V (2005). "The effects of practice and delay on motor skill learning and retention". *Exp Brain Res 161: PP:423-431.*

26.Savion-Lemieux T, Penhune V (2009). "Developmental contributions to motor sequence learning". *Exp Brain Res 195: PP:293-306.*

---

27. Savion-lemieux, virginia B. Penhune. (2009). "The effect of practice pattern on acquisition, consolidation and retention of motor sequences". *Exp Brain Res* 204: PP:271-281.

28. Sowell E, Thompson P, Leonard C, Welcome, S. (2004). "Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children". *J Neurosci* 24: PP:8223-8231.

29. Thomas K, Nelson C. (2001). "Serial reaction time learning in preschool- and school-age children". *J Exp Child Psychol* 79: PP:364-387.

30. Tober CL, Pollak SD. (2005). "Motor development of post-institutionalized children across time". *Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development, Atlanta, GA*.

31. Virginia B. Penhune. (2011). "Sensitive periods in human development: Evidence from musical training". *J Cogn Neurosci*. 16: PP:1412-1425.

32. Wilke M, Krageloh-Mann I, Holland S. (2007). "Global and local development of gray and white matter volume in normal children and adolescents". *Exp Brain Res* 178: PP:296-307.

33. Zin, Knudsen E. (2004). "Sensitive periods in the development of the brain and behaviour". *J Cogn Neurosci* 16: PP:1412-1425.