طراحی، ساخت و اعتبارسنجی "ابزار تحلیل حرکت انسان بر پایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال"

مهدی شهبازی* ، فریبا حسن بارانی**

* دانشیار رفتار حرکتی دانشگاه تهران، تهران، خ کارگر شمالی، دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران، گروه رفتار حرکتی

** دانشجوی دکتری کنترل حرکتی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۲۲

چکیده

ابزارها و روش‌هایی که شناخت و بررسی متغیرهای تحلیل حرکت را امکان‌پذیر کنند کمک شایانی به شناخت حرکت و علوم حرکتی خواهند کرد و بخش حیاتی آزمایشگاه‌های علوم حرکتی و ورزشی خواهند بود. «ابزار تحلیل حرکت انسان برپایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال» بدین منظور طراحی شد که اطلاعات مربوط به تحلیل حرکت را در اختیار محققان، مربیان و درمانگران قرار دهد. پس از اینکه ابزار پیش‌گفته طبق طرح‌های تخصصی مهندسان الکترونیک و مکانیک ساخته شد، تحت آزمایش قرار گرفت تا اینکه چهارمین طرح ساخته‌شده نهایی شد و در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۱ با شمارهٔ ۸۳۵۵۷ به ثبت رسید. برای اعتبارسنجی، از ۲۰ شرکت‌کننده (۱۰ زن و ۱۰ مرد)، با بهره‌گیری از سیستم تحلیل حرکت با دوربین‌های مادون قرمز و ابزار پژوهش حاضر، خواسته شد تا یک تکلیف پرتابی را انجام دهند. برای بررسی میزان روایی و پایایی از خطای ریشهٔ میانگین مربعات (RMSE) و همبستگی پیرسون در سطح آماری ۰/۰۱ استفاده شد. در پایان، نتایج حاکی از این بود که ابزار ساخته‌شده قابلیتی کاربردی دارد و از روایی و پایایی مناسبی برخوردار است، به طوری که میزان روایی ۰/۹۸ و پایایی ۰/۹۵ گزارش شد.

واژگان کلیدی: کنترل حرکتی، سینماتیک، سینتیک، ابزار تحلیل حرکت، مهارت حرکتی.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]

مقدمه

حرکت جزء اصلی روند تکامل در انسان‌هاست. مهارت‌های حرکتی از زمان تولد با انسان همراه نیستند، بلکه باید آموخته شوند. درست است که برخی حرکت‌های انسان بر اثر واکنش‌های طبیعی شکل می‌گیرد، اما این حرکت‌ها نیز آموختنی است، با این تفاوت که در مقاطع کوتاه‌تر زمانی آموخته و اجرا می‌شود. هدف انسان از یادگیری مهارت‌های حرکتی این است که آنها را درست و بی‌نقص و مؤثر اجرا کند؛ ضمن آنکه افراد مایل‌اند دربارهٔ خود حرکت نیز اطلاعاتی داشته باشند و بدانند حرکت چگونه روی می‌دهد یا تغییر می‌کند. یک راه اساسی برای به‌دست‌آوردن دانش و اطلاعات دربارهٔ اکتساب حرکت، استفاده از دانش کنترل حرکتی به‌همراه علم بیومکانیک است [۱]. مطالعهٔ کنترل حرکتی می‌تواند شامل تمرکز بر حرکت‌های رایج انسان‌ها و بررسی عوامل تعیین‌کنندهٔ دقت، انتخاب حرکت و انتخاب الگوی عمل در آن باشد [۲] و از ویژگی‌های بیومکانیکی عمل یعنی سینماتیک و سینتیک[1] حرکت بهره گیرد. متغیرهای سینماتیک، مستقل از نیروهای منجر به حرکت، و در توصیف حرکت بکار می‌روند. این متغیرها شامل جابه‌جایی، سرعت و شتاب‌های خطی و زاویه‌ای هستند [۳]. داده‌های جابه‌جایی را می‌توان از هر نقطهٔ مهم آناتومیکی مانند مرکز جرم قسمت‌های بدن، مرکز چرخش مفاصل، ابتدا و انتهای اندام‌ها یا برجستگی‌های آناتومیکی مهم به‌دست آورد. برای مثال، در سیستم دوبعدی، سمت راست محور افقی صفر درجه را نشان می‌دهد و حرکت در جهت عکس عقربه‌های ساعت مبین جابه‌جایی مثبت زاویه‌ای است. مفاهیم مقدماتی سینماتیک براساس سیستم دو بعدی و روی صفحه آموزش داده می‌شوند. تمام متغیرهای سینماتیک جابه‌جایی و دورانی از نوع بردار هستند. هرچند، مقدار آنها در هر جهت و مؤلفهٔ آنها در هر راستا را می‌توان کمیت‌هایی اسکالر در نظر گرفت و آنها را به‌صورت عددی پردازش و تجزیه و تحلیل کرد. در تجزیه و تحلیل سه‌بعدی، علاوه‌بر مقدار بردار، جهت بردار را نیز به محاسبات خود اضافه می‌کنیم، ولی در این حالت باید سه صفحه را تجزیه و تحلیل کنیم. هر عضو در تجزیه و تحلیل سه‌بعدی دارای محور مختصات خاص خود است. بنابراین، جهت سه‌بعدی صفحات برای هر عضو، مشابه اعضای مجاور نخواهد بود [۴]. علم سینتیک به مطالعهٔ حرکت و نیروهای منجر به حرکت می‌پردازد. در این علم دو نوع نیروی داخلی و خارجی بررسی می‌شود. نیروهای داخلی در بدن انسان از فعالیت عضلات، لیگامان‌ها یا اصطکاک عضلات و مفاصل ایجاد می‌شود. نیروهای خارجی از طرف زمین یا بارهای خارجی مثل اجسام فعال و متحرک (مثل نیروهای واردشونده از طرف فوتبالیست‌ها در هنگام دریبل‌زدن) یا منابع نیروهای غیرفعال (مثل مقاومت باد) اعمال می‌شوند. در مبحث سینتیک است که واقعاً می‌توان به دلایل حرکت پی‌برد و بنابراین بینشی دربارهٔ سازوکارهای درگیر و استراتژی‌های حرکتی و جبران‌سازهای سیستم عصبی به‌دست آورد [۵].

همان‌طور که گفته شد، حرکت جزء جدایی‌ناپذیر زندگی است که برای درک الگوهای زیربنایی آن، بررسی تحلیل حرکت یعنی متغیرهای سینماتیکی و سینتیکی ضروری است. بنابراین، یافتن ابزارها و روش‌هایی که بتواند شناخت و بررسی این متغیرها را میسر کند، کمک شایانی به شناخت حرکت و علوم حرکتی خواهد کرد و بخش حیاتی آزمایشگاه‌های علوم حرکتی و تحقیق‌های میدانی خواهد بود. اغلب ابزارها و روش‌های تحلیل حرکت به دوربین و اطلاعات دریافتی از آن وابسته‌اند که محدودیت‌هایی از این قبیل دارند: وجود صفحهٔ نمایشگر و رایانه در هنگام ثبت اطلاعات، پرهزینه‌بودن، مشکل در حمل و جابه‌جایی، نیاز به داشتن تخصص ویژه و کاربری مشکل، نیاز به فضای وسیع، استفادهٔ فقط آزمایشگاهی یا میدانی. در روش تحلیل ویدیویی از دوربین‌های فیلم‌برداری سرعت بالا (معمولاً با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به بالا) به‌صورت یک‌بعدی یعنی تک‌دوربین یا سه بعدی، و بیش از یک دوربین برای فیلم‌برداری آفلاین استفاده می‌شود که پس از اتمام ضبط، اطلاعات به نرم‌افزار تخصصی منتقل می‌شود و فرآیندهایی مانند فیلترینگ و هموارسازی روی آنها صورت می‌گیرد (شکل ۱). برای ثبت اطلاعات آنلاین از دوربین‌های مادون قرمز، به‌همراه نشانگرهای انعکاسی و نرم‌افزار ویژه، بهره گرفته می‌شود. در این روش، هم‌زمان با حرکت نشانگرهایی که به بدن فرد نصب شده‌اند، نرم‌افزار، نمایشی از نقاط روشن که نشانگر مارکرها است در اختیار می‌گذارد و پس از ضبط، فرآیندهای پس‌پردازش[2] درباب آنها انجام می‌شود (شکل ۲). به‌هرحال، هر دوی این روش‌های رایج مستلزم رعایت موازین و زمینه‌های خاصی است و تنظیمات دقیق و پردازش‌های پیچیده‌ای را می‌طلبد. در روش نخست، که ارزان‌تر از روش دوم است، تنها از یک دوربین برایمیدان‌های ورزشی می‌توان استفاده کرد و امکان تنظیمات دقیق برای آن فراهم نیست، مگر در شرایط آزمایشگاهی. در روش

1. Kinematic & Kinetic
2. Post Process

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]

دوم، علاوه‌بر هزینهٔ زیاد، نوع آزمایشگاهی و میدانی متفاوت است و پردازش اطلاعات نیازمند نرم‌افزارهای پیچیده با کاربری مشکل است. به‌علاوه، هیچ‌یک از این دو روش اطلاعات سینتیکی را در اختیار قرار نمی‌دهند و صرفاً برای ثبت اطلاعات سینماتیکی به کار می‌آیند [۶].



شکل ۱. ابزار و روشی برای ارزیابی فیزیکی

از ابزارهای ذکرشده در تمامی آزمایشگاه‌های حرکتی و ورزشی برای بررسی متغیرهای کینماتیکی افراد استفاده می‌شود. برای مثال، موسوی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود به مقایسهٔ عملکردی پارامترهای کینماتیکی شروع راه‌رفتن ارادی و غیرارادی در مردان ۲۰–۲۵ ساله پرداختند و از دستگاه تحلیل حرکت استفاده کردند [۷]. صادقی و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر یک دوره تمرین قدرتی را بر برخی پارامترهای کینماتیکی راه‌رفتن زنان سالمند سالم با استفاده از دوربین فیلم‌برداری بررسی کردند [۸]. حسن بارانی، عبدلی و فارسی (۱۳۹۲) به بررسی تفاوت اثر یادگیری کم‌خطا و پرخطا بر متغیرهای کینماتیکی اجرا پرداختند و از دوربین‌های مادون قرمز بهره گرفتند [۹].

کاگمایا و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تفاوت بین پرتاب‌کننده‌های توپ بیس‌بال دانشگاهی و توجوان در کینماتیک و کینتیک اندام‌های پایینی و تنه در طول حرکت پرتاب پرداختند و از سیستم تحلیل حرکت با دوربین‌های مادون قرمز استفاده کردند [۱۰]. اسماجلویچ و همکاران (۲۰۱۳) ساختارهای کینماتیکی مرتبط با گروه‌های کیفی مختلف پسران با سن ۱۰–۱۲ ساله را با بهره‌گیری از دوربین‌های مادون قرمز مطالعه کردند [۱۱].



شکل ۲. دوربین‌های مادون قرمز

همان‌طور که گفته شد استفاده از این ابزارها در غالب تحقیقات علوم حرکتی و ورزشی رایج است. درصورتی که بسیار پرهزینه است و کاربر را با پیچیدگی‌های متفاوتی روبه‌رو می‌کند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]

بدین‌ترتیب، ساخت ابزاری که بتواند علاوه‌بر داشتن مزیت‌های ذکر شده، محدودیت‌های آنها را نداشته باشد، لزوم آزمایشگاه‌های علوم حرکتی است. ازاین‌رو «ابزار تحلیل حرکت انسان برپایه سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال» با دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری طراحی و ساخته شد. کاربرد آن بسیار ساده است و به تخصص ویژه‌ای نیاز ندارد. در آزمایشگاه و میدان ورزشی به‌راحتی قابل استفاده است و مستلزم تنظیمات خاصی نیست، حتی فرد بیمار یا ورزشکار به کمک و همراهی درمانگر یا مربی نیاز ندارد و به‌راحتی می‌تواند خودارزیابی انجام دهد. این ابزار به‌راحتی روی بدن فرد وصل می‌شود و اطلاعات سینماتیکی آن را به‌صورت آفلاین و دوبعدی روی کارت حافظه ذخیره می‌کند و پس از اتمام فرآیند ضبط، از دستگاه جدا می‌شود، به کامپیوتر وصل می‌شود و اطلاعات را روی نرم‌افزار نمایش می‌دهد. نرم‌افزار علاوه‌بر بررسی اطلاعات سینماتیکی امکان تبدیل آنها را به اطلاعات سینماتیکی نیز می‌دهد. این ابزار قابلیت سنجش حرکت در هر سه صفحهٔ فرونتال، هوریزنتال و ساجیتال را به‌طور جداگانه دارد، ولی ازآنجاکه اغلب حرکت‌های ورزشی در صفحهٔ ساجیتال صورت می‌گیرد این صفحه به‌طور اختصاصی معرفی شده‌است. اما سؤالی که برای تمام دستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری مطرح می‌شود این است که آیا دستگاه ساخته‌شده روایی و پایایی لازم را برای متغیر قابل اندازه‌گیری دارد؟ [۱۲] اگر میزان روایی و پایایی این ابزار مطلوب باشد، می‌توان با اطمینان خاطر از آن برای تحلیل حرکت استفاده کرد و آن را به معلمان، مربیان، درمانگران و به طور کلی جامعهٔ حرکتی و ورزشی معرفی کرد تا برای شناسایی و بهبود مهارت‌های حرکتی فرد بیمار، ورزشکار مبتدی و حرفه‌ای خود، هم در آزمایشگاه و هم در میدان از آن بهره ببرند. به همین دلیل، هدف اصلی پژوهش حاضر، علاوه‌بر معرفی طراحی و ساخت ابزار تحلیل حرکت انسان برپایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال، تعیین روایی و پایایی آن برای تحلیل حرکت بود.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با توجه به اهداف آن پژوهشی کاربردی با طرح تحقیق نیمه‌تجربی است. ۲۰ دانشجوی جوان (۱۰ زن و ۱۰ مرد) که فاقد مشکلات ارتوپدیک بودند داوطلبانه در این پژوهش مشارکت کردند.

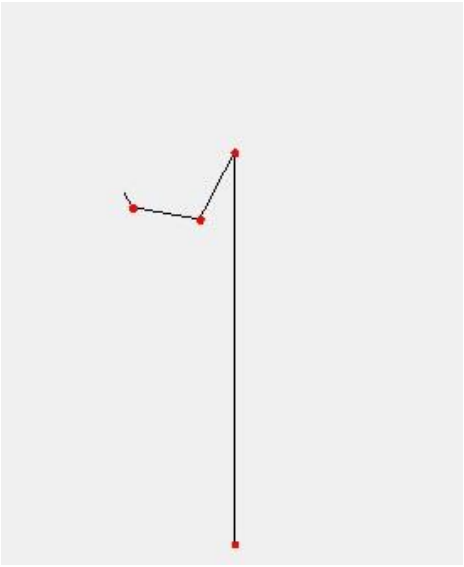
ابزار اندازه‌گیری

۱- ابزار تحلیل حرکت انسان برپایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال شامل بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. **بخش سخت‌افزاری**: الف) برد اصلی دستگاه، یک برد الکترونیکی است که داخل محفظه‌ای به ابعاد ۶ × ۱۰ سانتی‌متر قرار دارد. ب) باتری، قابل شارژ برای تغذیهٔ مدار، قابل اتصال به شارژر استاندارد (micro USB 5v) و قابل اتصال به آرایهٔ سنسورهای اندازه‌گیری زاویه است. ج) کارت حافظه micro SD، که اطلاعات روی آن ذخیره می‌شود. دکمهٔ چندکاره، جهت روشن/خاموش، شارژ، شروع/توقف نمونه‌گیری و کالیبراسیون سنسورها است. د) LED، وضعیت دستگاه در حالت‌های مختلف عملکرد دستگاه را نمایش می‌دهد. ه) سنسور، مقاومت مینیاتوری نیم‌دور که به‌همراه قاب مناسب به مفاصل بدن (محل تغییر زاویه) متصل می‌شود و با یک کابل micro USB به برد اصلی دستگاه متصل می‌شود (شکل ۳). **بخش نرم‌افزاری**: نرم‌افزار پردازشگر اطلاعات، داده‌های جمع‌آوری‌شده به وسیلهٔ برد اصلی دستگاه را پردازش می‌کند. خروجی نرم‌افزار به‌صورت فایل‌هایی با قالب استاندارد CSV است که در نرم‌افزارهای Excel، Mat lab, SPSS و دیگر نرم‌افزارهای پردازش داده‌ها قابل استفاده است (شکل ۴). **نحوهٔ عملکرد دستگاه**: به این صورت است که در زمان نمونه‌گیری هر کوشش، دستگاه داده‌های خام (اندازهٔ زاویهٔ تمامی مفاصل مرتبط) در طول مدت آزمون را به‌صورت جدولی در یک فایل متنی روی کارت حافظه ذخیره می‌کند. سپس داده‌ها به نرم‌افزار منتقل می‌شود، نرم‌افزار با استفاده از اندازهٔ زوایا در واحد زمان و نیز اطلاعات مرتبط با آزمون‌شونده (نوع آزمون انجام‌شده و اندازهٔ اتصالات مفصلی مرتبط) موقعیت مفاصل مورد نظر در طول دورهٔ آزمون و نیز بقیهٔ اطلاعات سینماتیکی و سینتیکی ضروری را محاسبه می کند و بخش مجزای خروجی اطلاعات حرکت پرتابی دست و پا را می‌دهد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]



شکل۳. برد



شکل۴. تصویری از برنامهٔ نرم‌افزاری (نقاط قرمز نمایانگر مفاصل اندازه‌گیری‌شده هستند).

۲- چهار دوربین مادون قرمز مدل Osprey و نرم‌افزار کرتکس ۲/۶ (ساخت شرکت Motion Analysis، امریکا) و نرم‌افزار متلب (ورژن ۷)، برای بررسی روایی هم‌زمان ابزار محقق‌ساخته استفاده شد.

روش اجرای پژوهش

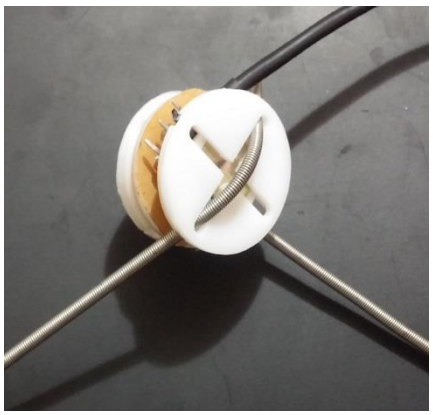
مراحل ساخت

ابتدا ابزار گفته شده طبق طرح‌های تخصصی مهندسان الکترونیک و مکانیک ساخته شد. سپس، تحت آزمایش قرار گرفت تا در صورت لزوم بازیابی و کامل شود، به‌دلیل ویژگی‌های خاص و پیچیدهٔ مکانیک ابزار، این فرآیند چهار مرتبه تکرار شد و بدین‌ترتیب چهارمین طرح و وسیلهٔ ساخته‌شده، پس از آزمایش‌های مختلف، نهایی شد و در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۱ با شمارهٔ ۸۳۵۵۷ به ثبت رسید (شکل ۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]



الف



ب



ج



د

شکل۵. چهار مرحلهٔ پیشرفت ساخت: الف، ب، ج و د

اعتبارسنجی

آزمون شامل تکلیف پرتاب با دست بود [۱۳]. انتخاب این تکلیف ویژه به‌علت فاکتور مهم محاسبهٔ زمان رهایی توپ بود که از ویژگی‌های مهم و منحصربه‌فرد ابزار محقق‌ساخته به شمار می‌آید [۱۴]. برای بررسی روایی، از سیستم تحلیل حرکت با دوربین‌های مادون قرمز (Motion Analysis، ساخت کشور امریکا) استفاده شد. مارکرهای این سیستم روی مفاصل آخرمی شانه، اپی کندیل آرنج و زائده نیزه‌ای زند زیرین قرار گرفت. هر شرکت‌کننده سه پرتاب با دست انجام داد، ولی بهترین پرتاب برای مراحل بعدی تحلیل انتخاب شد. سپس، سنسورهای ابزار محقق‌ساخته روی همین مفاصل قرار گرفت و کوشش‌ها ضبط شد (شکل ۶). داده‌های دریافتی از دوربین‌ها به نرم‌افزار سه‌بعدی کرتکس ۲/۶ منتقل شدند و از یک فیلتر دوسویه با تروورس ۶ هرتزی به‌منظور بریدن و جداکردن فراوانی‌ها به‌صورت مساوی بر سه، برای هموارکردن داده‌ها استفاده شد. برای مقایسهٔ داده‌ها با یکدیگر، داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار متلب، به روش درون‌یابی گوسی نرمال شدند. نمودار زوایای مچ، آرنج و شانه و پارامتر حداکثر فلکشن مچ، آرنج و شانه برای هر فرد استخراج شد. دربارهٔ داده‌های دریافتی از ابزار پژوهش حاضر نیز همین فرآیند با استفاده از نرم‌افزار ویژه تکرار شد. برای بررسی پایایی، یک هفته بعد به همان شرکت‌کنندگان ابزار پژوهش حاضر وصل شد، کوشش‌ها دوباره تکرار شدند و فرآیند استخراج داده‌ها مانند روش روایی انجام گرفت.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]



شکل۶. نحوۀ قرارگیری مارکرها و سنسورها روی بدن

روش‌های آماری

از آمار توصیفی برای دسته‌بندی داده‌ها و از آزمون شاپیروویلک برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها استفاده شد. برای تعیین روایی از میزان اختلاف یعنی فرمول RMSE استفاده شد، به‌طوری که تفاضل نمودار زاویۀ ابزار پژوهش حاضر از نمودار زاویۀ سیستم تحلیل حرکت انجام‌شده، به توان ۲ رسید و پس از تقسیم بر کل داده‌ها جذر شده [۱۵]:

$$RMSE=\sqrt{\frac{(\theta_1+\theta_2)^2}{n}}$$

بین پارامتر حداکثر فلکشن آرنج، مچ و شانه مستخرج از ابزار پژوهش حاضر و سیستم تحلیل حرکت همبستگی پیرسون در سطح آماری ۰/۰۱ گرفته شد.

برای تعیین پایایی نیز از روش آزمون- آزمون مجدد با ضریب همبستگی پیرسون در سطح آماری ۰/۰۱ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

در تعیین روایی ابزار بیشترین میزان RMSE برای زاویۀ مچ ۰/۰۹، آرنج ۰/۱۵ و شانه ۰/۱۴ گزارش شد که نشان‌دهندۀ اختلاف ناچیز دقت ابزار پژوهش حاضر از سیستم تحلیل حرکت است. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نیز تفاوت معناداری بین پارامترهای دو ابزار نشان نداد و بالاترین میزان همبستگی r=۰/۹۸ گزارش شد که میزان بالایی است (جدول ۱).

در تعیین پایایی نیز همبستگی پیرسون تفاوت معناداری بین پارامترهای دو آزمون نشان نداد و بالاترین میزان همبستگی r=۰/۹۵ گزارش شد که میزان مطلوبی است (جدول۲).

جدول۱. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای حداکثرفلکشن مچ، آرنج و شانه ابزار پژوهش حاضر و سیستم تحلیل حرکت

پارامتر	تعداد	همبستگی	معناداری
حداکثر فلکشن شانه	۲۰	۰/۸۸	۰/۰۰
حداکثر فلکشن آرنج	۲۰	۰/۸۸	۰/۰۰
حداکثر فلکشن مچ	۲۰	۰/۹۸	۰/۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]

جدول۲. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای حداکثرفلکشن مچ، آرنج و شانه ابزار پژوهش حاضر در آزمون-آزمون مجدد

پارامتر	تعداد	همبستگی	معناداری
حداکثر فلکشن شانه	۲۰	۰/۸۱	۰/۰۰
حداکثر فلکشن آرنج	۲۰	۰/۸۸	۰/۰۰
حداکثر فلکشن مچ	۲۰	۰/۹۵	۰/۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر طراحی، ساخت و اعتبارسنجی "ابزار تحلیل حرکت انسان برپایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال" بود. امروزه، ابزارهای تحلیل حرکت بخش وسیعی از آزمایشگاه‌های علوم حرکتی را به خود اختصاص داده‌اند؛ زیرا لزوم استفاده از آنها در اهداف آموزشی، درمانی و ورزشی بر کسی پوشیده نیست. تمامی محققان کنترل حرکتی برای بررسی زیربنای حرکت از این ابزارها بهره برده‌اند و پس از تأیید نتایج خود، پروتکل‌های متفاوتی را به بخش‌های کاربردی اعم از درمانی و ورزشی ارائه داده‌اند. البته در حین استفاده از پروتکل‌ها در حوزهٔ کاربرد، دوباره از این ابزارها برای بررسی بیشتر و دقیق‌تر استفاده می‌شود [۱۶]. اغلب ابزارها و روش‌های تحلیل حرکت به دوربین و اطلاعات دریافتی از آن وابسته‌اند که محدودیت‌های بسیاری دارد، از جمله می‌توان پرهزینه‌بودن، کاربری پیچیده و تخصصی و استفاده فقط آزمایشگاهی یا میدانی را نام برد. در این میان، رایج‌ترین روش‌های تحلیل حرکت، مبتنی بر تحلیل ویدیویی و دوربین‌های مادون‌قرمز معرفی شده‌اند. بارتلت (۲۰۱۲) خصوصیات منحصربه‌فرد هریک را به‌تفکیک بیان کرده است. او تحلیل ویدیویی را ابزاری معرفی می‌کند که بیشترین استفاده را در آموزش برای افزایش عملکرد ورزشکاران دارد. همچنین، اذعان می‌کند که در حال حاضر همهٔ مربیان به‌علت عواملی از قبیل نداشتن تخصص ویژه، تجهیزات نامناسب و فقدان پشتیبان قادر به استفاده از این نوع ابزارها نیستند. به‌عقیدهٔ او میزان فریمی (فرکانس) که باید تنظیم شود با نوع فعالیت متناسب است. برای مثال، تحلیل کمی از تعامل بین پای بازیکن و توپ هنگام ضربهٔ فوتبال مستلزم میزان بالای ۱۰۰۰ هرتز است درحالی‌که برای تعیین طول گام نهایی هنگام نزدیک‌شدن به توپ، میزان ۲۵ هرتزی مناسب‌تر خواهد بود. همچنین، بارتلت در توصیف مزایای دوربین‌های مادون‌قرمز راحتی جمع‌آوری اطلاعات را ذکر می‌کند، اما معایب آن را نیز هزینهٔ زیاد دوربین‌ها و نیاز به نرم‌افزار ویژه و تخصصی درنظر می‌گیرد [۶]. بنابراین، طراحی روش و ابزاری که بتواند محدودیت‌های دو روش پیش‌گفته را مرتفع سازد، در عین حفظ قابلیت‌های آنها، کمک شایانی به تحلیل و درک زیربنای حرکت می‌کند، به‌گونه‌ای که درمانگر یا مربی به‌راحتی بتواند از آن بهره گیرد، حرکت فرد بیمار یا ورزشکار را ارزیابی کند و در پروتکل‌های تمرینی یا مداخلات خود در نظر بگیرد. البته، اگر ابزار به‌گونه‌ای باشد که خود ورزشکار نیز بتواند بدون کمک مربی یا درمانگر به خود-ارزیابی بپردازد، مزیتی مضاعف خواهد داشت. به‌همین دلیل، «ابزار تحلیل حرکت انسان بر پایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال» طراحی و ساخته شد تا اطلاعات سینماتیکی و سینتیکی حرکات را تجزیه و تحلیل کند. ابزار ذکرشده پس از چهار مرحله ساخت و آزمایش‌های متعدد، به مرحلهٔ نهایی رسید. پس از آن، روایی و پایایی آن تحت تحلیل قرار گرفت. ۲۰ نفر شرکت‌کنندهٔ زن و مرد برای بررسی روایی و پایایی داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند. گفتنی است که این افراد فاقد اختلالات ارتوپدیک بودند. جهت روایی هم‌زمان، از سیستم تحلیل حرکت با چهار دوربین مادون قرمز استفاده شد. RMSE زوایای هر دو ابزار نشان داد که میزان خطا در کمترین مقدار است و ابزار پژوهش حاضر از دقت زیادی برخوردار است. ضریب پیرسون نیز برای پارامتر حداکثر فلکشن مچ، آرنج و شانه میزان زیادی به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ روایی زیاد این ابزار است (۰/۹۸). برای پایایی نیز تفاوت معناداری مشاهده نشد و میزان پایایی نیز بالا گزارش شد (۰/۹۵). از مزایای این ابزار می‌توان شناخت متغیرهای حرکتی را هم در میدان و هم آزمایشگاه نام برد. دریافت اطلاعات سینماتیکی و سینتیکی اندام، بررسی حرکت فرد بیمار و ورزشکار، نیاز نداشتن به دوربین، رایانه و صفحهٔ نمایشگر و برق در هنگام ثبت اطلاعات، حمل و کاربری آسان و مقرون به‌صرفه‌بودن از دیگر مزایای این ابزار است. در کاربرد نیز، برای مثال، محقق می‌تواند از این ابزار برای بررسی ویژگی‌های حرکت و مهارت‌های حرکتی ویژه در افراد مختلف بهره ببرد [۱۷]. یا می‌تواند با استفاده از آن به روند بهبود الگوی حرکتی و عملکرد ورزشکار مبتدی و حرفه‌ای خود

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]

کمک کند [۱۸]. یا درمانگر می‌تواند از آن برای شناخت تفاوت حرکت فرد بیمار با فرد سالم و ارائهٔ برنامهٔ بازتوانی مناسب و مشاهدهٔ پیشرفت بهبودی استفاده کند [۱۹]. فرد بیمار یا ورزشکار به خود-ارزیابی می‌پردازد و بازخوردی از روند پیشرفت خود دریافت می‌کند. به‌طور کلی، ابزار ساخته‌شده مشکلات ابزارهای تحلیل حرکت پیشین را ندارد، علاوه‌برآن، مزایای آنها را نیز دربرمی‌گیرد، البته هر ابزاری محدودیت‌های خود را دارد که در طی زمان و پژوهش‌های مکرر بازبینی و اصلاح می‌شود. برای مثال سیستم‌های تحلیل حرکت با دوربین‌های مادون قرمز هرچند امکان اندازه‌گیری در فضای سه‌بعدی را می‌دهند، بسیار پرهزینه‌اند و به تخصص ویژه برای استفاده و تحلیل نیاز خواهند داشت.

بنابر آنچه گفته شد، نتیجه گرفته می‌شود که "ابزار تحلیل حرکت انسان برپایهٔ سنجش زوایای مفصلی در صفحهٔ ساجیتال" با میزان روایی و پایایی بالا به شناخت حرکت کمک می‌کند، متغیرهای سینماتیکی و سینتیکی حرکت اندام را اندازه‌گیری می‌کند، هم در آزمایشگاه و هم میدان قابل استفاده است، به ورزشکار مبتدی برای یادگیری مهارت‌های حرکتی، به ورزشکار حرفه‌ای برای بهبود عملکرد خود و به فرد بیمار برای بازتوانی مهارت‌های حرکتی کمک می‌کند. بدین ترتیب، می‌توان این ابزار را به آزمایشگاه‌های علوم حرکتی و ورزشی برای استفادهٔ مربیان، درمانگران و محققان پیشنهاد کرد.

منابع

1.Schmidt, R.A. and T. Lee, Motor Control and Learning. 2005: Human kinetics.
2. Schmidt, R.A. and C.A. Wrisberg, Motor learning and performance. 2004.
3. Enoka, R.M., Neuromechanics of human movement. 2008: Human kinetics.
4. Dun, S., et al., Biomechanical comparison of the fastball from wind-up and the fastball from stretch in professional baseball pitchers. The American journal of sports medicine, 2008. 36(1): p. 137-141.
5. Winter, D.A., Biomechanics and motor control of human movement. 2009: John Wiley & Sons.
6. Bartlett, R., Introduction to sports biomechanics. 1997: Taylor & Francis.

۷. موسوی، خ، صادقی، ح و طباطبائی قمشه، ف (۱۳۹۲)، مقایسه عملکردی پارامترهای کینماتیکی شروع راه رفتن ارادی و غیرارادی درمردان ۲۰-۲۵ ساله، مجله علمی پژوهشی توانبخشی نوین دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۷ (۳).

۸. صادقی, ح، نقی‌نژاد، ف و رجبی، ح (۱۳۸۷)، تأثیر یک دوره تمرین قدرتی بر برخی پارامترهای کینماتیکی راه رفتن زنان سالمند سالم، سالمند ایران، ۳ (۹- ۱۰).

۹. حسن بارانی، ف، عبدلی، ب و فارسی، ع (۱۳۹۲)، تأثیر تمرین یادگیری کم‌خطا و پرخطا بر متغیرهای کینمایتیکی اجرا در یک تکلیف پرتابی، پژوهش در علوم توانبخشی، ۹ (۶).

10. Kageyama, M., et al., Difference Between Adolescent and Collegiate Baseball Pitchers in the Kinematics and Kinetics of the Lower Limbs and Trunk During Pitching Motion. Journal of sports science & medicine, 2015. 14(2): p. 246.
11.Smajlović, N., et al., The Structure of Running Kinematic Parameters Related to Different Quality Groups of Boys aged 10-12. Volume 15–Issue 2–December, 2013, 2013: p. 4.

۱۲. صادقی، ح و حیدری، م (۱۳۸۹). طراحی، ساخت، روایی و پایایی سنجی دستگاه اندازه‌گیری همزمان کینماتیک حرکت و توزیع فشار آب در شنا، پژوهش در علوم ورزشی, ۷، ۴۶-۳۱.

13. Sachlikidis, A. and C. Salter, A biomechanical comparison of dominant and non-dominant arm throws for speed and accuracy. Sports Biomechanics, 2007. 6(3): p. 334-344.
14. Huang, P.-C., et al., Motion analysis of throwing Boccia balls in children with cerebral palsy. Research in developmental disabilities, 2014. 35(2): p. 393-399.
15. Sasakawa, K. and S. Sakurai, Biomechanical analysis of the sidearm throwing motion for distance of a flying disc: A comparison of skilled and unskilled Ultimate players. Sports Biomechanics, 2008. 7(3): p. 311-321.
16. Latash, M.L., Fundamentals of motor control. 2012: Academic Press.
17. Rosenbaum, D.A., Human motor control. 2009: Academic Press.
18. Davids, K., et al., Complex Systems in Sport. Vol. 7. 2013: Routledge.
19. Shumway-Cook, A. and M.H. Woollacott, Motor control: translating research into clinical practice. 2007: Lippincott Williams & Wilkins.
20. Edwards, W., (2010). Motor learning and control: From theory to practice, Cengage Learning.
21. Rose, D.J. and R.W. Christina, (1997). A multilevel approach to the study of motor control and learning, Allyn and Bacon Boston.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-04]