طراحی و نمونه‌سازی دستگاه ارزیابی کلاه در ورزش‌های رزمی بر اساس معیارهای دینامیکی

ندا بروشک *[۱]، حسن خوشنودی [۲]، حسن دانشمندی [۳]، منصور اسلامی [٤]

۱. دکترای بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان
۲. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوش
۳. استاد، آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان
٤. دانشیار، بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۳/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۷/۱۷

چکیده

تاکنون استاندارد مشخص و مؤثری برای بررسی کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی تعیین نشده است و این موجب بروز آسیب‌های مغزی بسیاری گردیده است. هدف این مطالعه، طراحی و نمونه‌سازی دستگاه ارزیابی کلاه در ورزش‌های رزمی بر اساس پارامترها و معیارهای دینامیکی بود. جهت طراحی این دستگاه از نرم‌افزارهای SolidWorks، Adams و Catia استفاده شد؛ همچنین، به منظور ساخت این دستگاه از یک سر مصنوعی مجهز به حسگرهای نیرو و شتاب و یک بازوی مکانیکی جهت اعمال ضربه به سر بهره گرفته شد. روایی دستگاه با مقایسه نتایج حاصل از آن (نیروی ضربه، شتاب خطی و شتاب چرخشی) با نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی شده در کامپیوتر انجام گردید. ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹ بدست‌آمده از این مقایسه، حاکی از درستی نتایج دستگاه می‌باشد. جهت پایایی نتایج دستگاه نیز، از ضریب درون همبستگی استفاده شد که نتایج، مقادیر ۰/۷ و بزرگ‌تر از آن را نشان داده و تکرارپذیری مناسب دستگاه را تأیید نمود. با توجه به نتایج تحقیق، دستگاه حاضر با در نظر گرفتن پارامترهای مهم شتاب‌های چرخشی و خطی و نیروی ضربه در ارزیابی کلاه‌ها و بررسی مکانیسم آسیب سر در شرایط نزدیک به مسابقه، می‌تواند ابزار مناسبی جهت سنجش دقیق‌تر کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی باشد.

کلیدواژه‌ها: شتاب چرخشی، پارامترهای دینامیکی، آسیب سر.

Designing and simulating of helmet evaluation machine in martial arts based on dynamic's criterias

Boroushak, N[1]., Khoshnoodi, H[2]., Daneshmandy, H[3]., Eslami, M[4].

1. PhD, Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Guilan University, Iran
2. PhD Student, Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Shoush Branch, Iran
3. Full Professor, Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Guilan University, Iran
4. Associate Professor, Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences,Mazandaran University, Iran

Abstact

Nowadays there is no specific and effective standard for evaluating the helmets in martial arts which it has caused a lot of brain damages. The purpose of this study was designing and modeling a helmet assessment machine in martial arts, based on dynamic's parameters and criteria. SolidWorks, Adams and Catia softwares were used for designing this machine. Also, In order to build this machine, an artificial head that equipped with force and acceleration sensors and a mechanical arm for applying impact to the head were used. The validation of the machine was done by comparing its results (impact force, linear acceleration and rotational acceleration) with the results obtained from the simulated model in the computer. The Pearson correlation coefficient of 0.9 that obtained from this comparison indicates that the results of this machine are correct. To confirm the reliability of the machine, an Intraclass Correlations was used, the results showed values of 0.7 and greater than that and it also confirmed the appropriate repeatability of the machine. According to the results of this study, due to the considering the important parameters of linear and rotational acceleration and the impact force in evaluating helmets and investigating the mechanism of head injury in the conditions close to competition ones, the device can be an appropriate equipment for more accurate measurement of helmets in martial arts.

Keywords: Rotational Acceleration, Dynamic's Parameters, Head Injury.

*. nedaboroushak@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]

[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

مقدمه

توسعه فناوری در علوم ورزشی علاوه بر افزایش سطح عملکردی ورزشکاران، تأثیر بسزایی در ایمن‌سازی و پیشگیری از آسیب دارد. یکی از راهکارهای کاهش آسیب سر، استفاده از کلاه‌های حفاظتی استاندارد است (۱). اما امروزه به‌رغم استفاده از این کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی، همچنان شاهد بروز آسیب در میان ورزشکاران این رشته‌های ورزشی هستیم. در برخی از گزارش‌ها آمده‌است که استفاده از محافظ سر در بوکس موجب افزایش خطر آسیب سر می‌شود؛ برای مثال، زارزین و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که ۸۹/۸٪ از آسیب‌ها در بوکس، مربوط به سر و گردن است که از این میان ۳۹/۸ در هر ۱۰۰۰ ورزشکار مربوط به تکان مغزی است (۲)؛ همچنین، پژوهش‌ها نشان داده است که میزان بروز ضربه مغزی در تکواندوکاران ۵۰/۱۷ در هر ۱۰۰۰ ورزشکار در معرض آسیب می‌باشد (۳) که این مقدار بیش‌تر از مقادیر گزارش‌شده در دیگر رشته‌های برخوردی مثل فوتبال آمریکایی و هاکی روی یخ است (٤). با توجه به گزارش‌های متعدد بروز آسیب سر در ورزش‌های رزمی، آگاهی از صحت عملکرد کلاه‌ها و بررسی دقیق روش‌های ارزیابی استانداردهای آن‌ها لازم و ضروری است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در ورزش‌های رزمی، روش‌های مشخص و مناسبی جهت بررسی استاندارهای کلاه و معیارهای مهم سنجش آن‌ها، وجود ندارد؛ برای مثال، مک‌اینتاش و همکاران (۲۰۱۵) و هوشیزاکی و همکاران (۲۰۱٤) در بررسی عملکرد میزان جذب ضربه کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی، از روش رها کردن یک سر ساختگی روی یک جسم سخت استفاده کردند. معیار سنجش ایشان برای ارزیابی کلاه‌ها فقط بر اساس شتاب خطی بود. در این روش، سر پس از برخورد به یک جسم سخت متوقف شده و عکس‌العمل گردن ناشی از ضربه در نظر گرفته نمی‌شود. مکانیسم شبیه‌سازی شده در این روش، سقوط آزاد و در راستای مستقیم است (۱،۵) در حالی‌که در ورزش‌های رزمی، ضربه در جهت‌ها و زوایای مختلفی به سر اعمال می‌شود که این نقص در اجرای ضربه، منجر به ایجاد خطاهای زیادی در نتایج می‌گردد؛ همچنین، اُسولیوان و همکاران (۲۰۱۳) و اُسولیوان و فایف (۲۰۱۵)، از روش آونگی (رها کردن یک توپ به یک سر حلق‌آویز شده) که بر مطابق استاندارد انجمن آزمون و مواد آمریکا بود، در بررسی میزان جذب ضربه کلاه‌ها در ورزش‌های بوکس و تکواندو استفاده کردند. با توجه به این روش، کلاه‌هایی تایید می‌شود که در انرژی‌های بالا (۱٤٤ژول)، شتاب خطی را کم‌تر از ۱۵۰g و در انرژی‌های پایین (۵٦/۲۵ ژول)، شتاب خطی را کم‌تر از ۵۰g نشان دهند (٦،۷). در این روش، علاوه بر نادیده گرفتن عکس‌العمل گردن پس از ضربه، حرکت ضربه زننده و سر پس از اعمال ضربه، کنترل شدنی نبوده و در ضربات مکرر محل ضربه متغیر است؛ به همین جهت، این روش نیز تکرارپذیری مناسبی ندارد.

فارغ از نقایص بسیار در روش‌های اندازه‌گیری مطالعات پیشین، بررسی پارامترهای مهمی همچون شتاب چرخشی و نیروی برخورد نیز در بروز آسیب‌های مغزی نادیده گرفته شده است؛ از همین رو، می‌توان گفت که استفاده از این روش‌ها با مشکلات جدی روبرو است؛ زیرا، در بررسی پارامترهای دینامیکی مرتبط با آسیب سر، مشخص

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

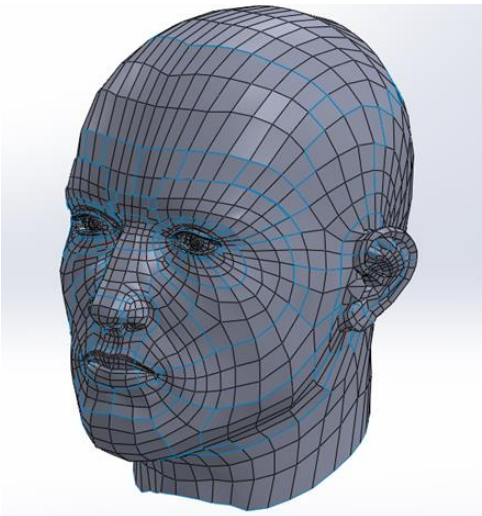
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]

[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

شده است که آسیب‌های مغزی غیرتماسی متاثر از شتاب‌های خطی و چرخشی سر و گردن است (۸). در این بررسی‌ها، شتاب خطی برای ارزیابی آسیب‌های موضعی مغز و شتاب چرخشی برای آسیب‌های انتشاری و شدید همچون آسیب‌های آکسونی و خونریزی ساختارهای عروقی به‌کار می‌رود؛ همچنین، دلیل آسیب‌های موضعی جمجمه‌ای، اندازه نیروی برخورد معرفی شده است (۸)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فقط استفاده از شتاب خطی در بررسی میزان جذب ضربه کلاه‌ها کافی نیست. با توجه به مطالب ذکر شده، نیاز به طراحی آزمون‌هایی بدون مشکلات و محدودیت‌های گذشته، در شرایطی نزدیک به مسابقه و با در نظر گرفتن ویژگی‌های یک ضربه واقعی مانند طول و جرم مؤثر اندام ضربه زننده بیش از پیش احساس می‌گردد؛ بر این اساس، رویکرد این مطالعه، طراحی و ساخت دستگاهی برای ارزیابی کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی، مبتنی بر نحوه صحیح اعمال ضربه و نیرو در شرایط مسابقه، براساس معیارهای دینامیکی شتاب خطی، شتاب چرخشی و نیروی برخورد بوده است. در این مطالعه، سنجش کلاه‌ها بر اساس سینماتیک واقعی یک ضربه که شامل طول و جرم مؤثر اندام پا، خواص مکانیکی سر و گردن و زاویه حرکتی است، در نظر گرفته شده است. به نظر می‌رسد با گسترش و ارتقاء ابزار اندازه‌گیری سنجش کلاه‌ها، بتوان به صنعت کلاه‌سازی در بهبود کلاه‌های استاندارد و ایمن کمک کرد و به این ترتیب موجب کاهش میزان آسیب‌های سر در رزمی‌کاران شد.

روش‌شناسی

در این مطالعه به منظور ارزیابی کلاه‌ها در ورزش‌های رزمی بر اساس معیارهای دینامیکی مرتبط با آسیب سر، ابتدا مدلی مناسب از سر و گردن با استفاده از نرم‌افزار Catia طراحی (شکل ۱) و با بهره‌گیری از دستگاه CNC ساخته شد (شکل ۲).



شکل ۱. مدل رایانه‌ای استفاده شده برای سر وگردن

شکل۲.مدل ساخته شده سر توسط دستگاه CNC

به منظور مشخص کردن ابعاد هندسی سر دامی انسان، مشخصات یک فرد ۸۰ کیلوگرمی با قد ۱۸۵ سانتی‌متر منطبق با جدول آنتروپومتریکی محاسبه شد (۹). برای تعیین خواص مکانیکی گردن از محاسبات، مدل‌سازی و شبیه‌سازی در مطالعه بروشک و همکاران (۲۰۱۸) که با نرم‌افزارهای تخصصی SolidWorks و Adams بود، استفاده شد (۱۰). به منظور اعمال ضربه به سر در شرایط مسابقه، ضربه راندهاوس‌کیک در ورزش‌های رزمی با طول پای ۰/۹۵ متر و جرم پای ۱۲/٤ کیلوگرم شبیه‌سازی شد، که این ابعاد برای یک حالت عمومی (حدود ۵۰ درصد مردان) بدست آمده است (۱۱). سرانجام اجزای متحرک دستگاه روی یک پایه ثابت نصب شده و جهت انجام محاسبات روی داده‌های خام با کابل‌های رابط برای داده‌برداری به رایانه‌ای متصل شدند (شکل ۳).

شکل۳- مجموعه دستگاه آزمایش ضربه به سر ثبت شده از سوی پژوهشگران

روش جمع‌آوری اطلاعات: برای اندازه‌گیری نیروی ضربه از سنسور Flexi Force ساخت شرکت Tekscan آمریکا، جهت اندازه‌گیری شتاب‌ها از سنسور ADXL سه محوره ساخت شرکت AnalogDevice که شتاب خطی تا میزان ۲۰۰g را راه‌اندازی می‌کند و همچنین برای محاسبه سرعت زاویه‌ای از یک ماژول ژیروسکوپ ساخت شرکت Invensense استفاده شد. شتاب چرخشی، با استفاده از شتاب خطی در دو نقطه سر و سرعت زاویه‌ای آن، از معادله شتاب نسبی (۱۲) در برنامه متلب بدست آمد. سنسورهای ذکر شده در محل‌های مناسب خود در دامی سر ساخته شده جاگذاری شدند (شکل ٤).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]

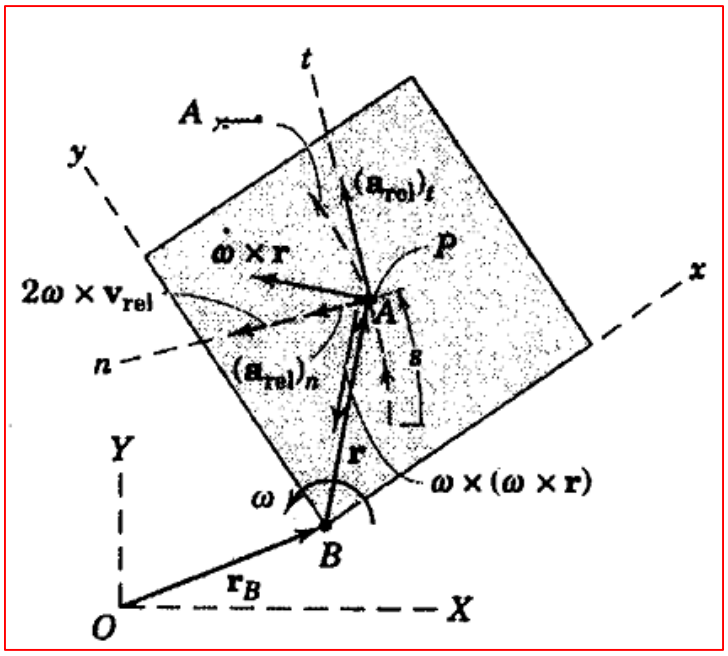
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

شکل۴. محل نصب و نحوه قرارگیری سنسورها در سر

اگر دو نقطه A و B محل اتصال دو شتاب‌سنج باشند، رابطه میان شتاب این نقاط بصورت رابطه (۱) خواهد بود:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{a}_{rel} + \vec{\alpha}\times\vec{r} + \vec{\omega}\times\left(\vec{\omega}\times\vec{r}\right) + 2\vec{\omega}\times\vec{v}_{rel} \qquad (۱)$$

اثبات رابطه (۱) در شکل (۵) آورده شده است (۱۲).



شکل۵. طرحواره‌ای از اثبات شتاب نسبی میان دو نقطه

از آنجایی که **هر** دوی این نقاط به‌طور ثابت روی سر که از لحاظ سینماتیکی یک جسم صلب محسوب می‌گردد، نصب شده‌اند، شتاب نسبی $\vec{a}_{rel}$ و سرعت نسبی $\vec{v}_{rel}$ برابر با صفر خواهند بود؛ بنابراین، مؤلفه شتاب کریولیس $\vec{a}_{cor} = 2\vec{\omega}\times\vec{v}_{rel}$ نیز برابر با صفر بوده و معادله به شکل زیر ساده می‌گردد:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{\alpha}\times\vec{r} + \vec{\omega}\times\left(\vec{\omega}\times\vec{r}\right) \qquad (۲)$$

در معادله (۲) برای یافتن شتاب چرخشی از رابطهٔ زیر بهره می‌گیریم:

$$\vec{\alpha} = \frac{1}{|\vec{r}|^2}\left[\left(\vec{a}_B + \vec{\omega}\times\left(\vec{\omega}\times\vec{r}\right) - \vec{a}_A\right)\times\vec{r}\right] \qquad (۳)$$

تعیین زاویه ضربه: این دستگاه قادر به اعمال ضربه در زوایای مختلف حرکتی است. رابطهٔ میان زاویه اولیه (رهاسازی) بازوی اهرم و مقدار حداکثر نیروی وارده به سر دامی را می‌توان با یک تابع غیرخطی تخمین زد. برای استفاده از روش برازش منحنی با یک تابع چند جمله‌ای، یک تابع چند جمله‌ای درجه n با ضرایب مجهول بصورت رابطه (٤) در نظر می‌گیریم:

$$\theta = p_1F^n + p_2F^{n-1} + ... + p_nF + p_{n+1} \qquad (٤)$$

به این ترتیب، با داشتن مقدار حداکثر نیروی ضربه، می‌توان زاویه رهاسازی را تقریب زد.

کالیبراسیون: به منظور کالیبراسیون سنسورهای شتاب، سر از ارتفاعی مشخص روی یک جسم نرم رها شد (۵ تکرار) و میانگین شتاب حاصل از تکرارها برابر با ۹/۵±۰/٦ متر بر مجذور ثانیه در مقابل شتاب جاذبه زمین در محل آزمایش ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه بدست آمد؛ سپس، ضریب کالیبراسیون نیز از نسبت شتاب اندازه‌گیری شده و شتاب جاذبه در محل آزمایش برابر با ۰/۹۷ حاصل گردید.

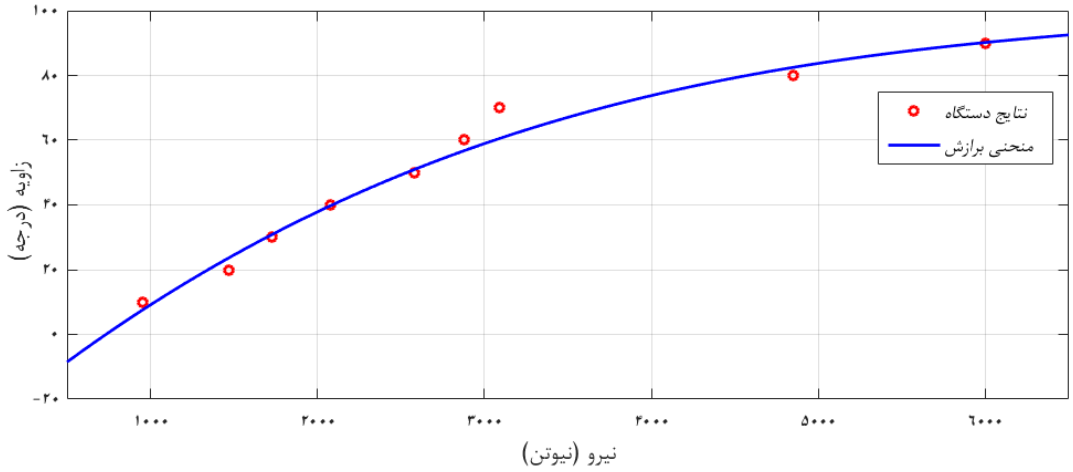
نحوه فیلترکردن داده‌ها: روشی که برای فیلتر کردن و حذف نویز روی خروجی‌های این دستگاه استفاده شد، از نوع هموار کردن آن با میانگین‌گیری محلی در مجاورت هر نقطه است که با توجه به پیوستگی نقاط مجاور با هم، مقدار بدست‌آمده برای هر خروجی منطقی و در محدوده خروجی معمولی و بلکه مطلوب خواهد بود؛ از سوی دیگر، با کم‌کردن تعداد نقاط جهت محاسبه میانگین، دیگر مشکل حذف نقاط بحرانی از قبیل نقاط اوج نمودار بوجود نخواهد آمد. روش این فیلتراسیون چنین است که برای هر نقطه میانگین سه نقطه متوالی به‌طور پیشرو در نظر گرفته خواهد شد که سرانجام به‌رغم حذف نویزهای اعمالی به سیستم، دینامیک اطلاعات خروجی حسگر در نظر گرفته خواهد شد و سطح نمودار نیز تا حد زیادی هموار خواهد گشت.

روایی و پایایی دستگاه: از برازش منحنی جهت تعیین رابطه‌ای میان زاویه حرکتی ضربه و نیروی برخورد (جدول ۱) استفاده شد. در این جدول مقدار ضرایب p_1، p_2، p_3 و p_4 بر اساس نیروهای بدست‌آمده و نیز مقدار مجموع مربعات خطاها در این نقاط استخراج گردیده است. نمودار منحنی برازش عبوری از میان نقاط بدست‌آمده از دستگاه آزمایش، در شکل ٦ ترسیم شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

جدول ۱- حداکثر نیروی استخراج‌شده از دستگاه برای زوایای رهاسازی مختلف و تعیین ضرایب تابع برازش

زاویه حرکتی	نیروی ضربه	ضرایب p_i	مجموع مربعات خطا
۱۰	۹۵٤/٥٦		
۲۰	۱٤٦٦/٥۲		
۳۰	۱۷۲۷/۱٦	(i=۱) ۲/۳e-۱۰	
٤۰	۲۰۷۷/۸۸	(i=۲) -٥/۲e-٦	
٥۰	۲٥۷۷/٦٤	(i=۳) ٤/۲۷۲e-۲	۲/۷۱
٦۰	۲۸۷٥	(i=٤) -۲/۸٦۱e+۱	
۷۰	۳۰۹۰		
۸۰	٤۸٤۸		
۹۰	٦۰۰۰		



شکل ۶. چندجمله‌ای درجه سوم برازش منحنی

با مشخص شدن ضرایب (i=۱، ۲، ٤،۳) p_i ، از این پس با وارد کردن مقدار نیروی مورد نظر در رابطه (٤)، مقدار زوایه حرکتی ضربه بدست خواهد آمد و بازوی ضربه زننده در آن زاویه به سر ضربه اعمال خواهد کرد. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی شده‌ی دستگاه ساخته شده در این تحقیق با برنامه Adams و مقایسه آن با مطالعات گذشته که با برنامه Visual Nastran انجام شده بود، در مقاله بروشک و همکاران (۲۰۱۸) به تفصیل توضیح داده شده و صحت شبیه‌سازی انجام شده را تأیید نموده است (۱۰). همچنین نتایج حاصل از دستگاه در مقایسه با نتایج حاصل از شبیه‌سازی، ضریب همبستگی ۰/۹ را نشان می‌دهد (جدول ۲) که نشان از دقت و روایی مناسب دستگاه دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از دستگاه و شبیه‌سازی رایانه‌ای برای بررسی روایی دستگاه

زاویه حرکتی ضربه	نیروی ضربه			شتاب خطی بیشینه			شتاب چرخشی بیشینه		ضریب همبستگی پیرسون
	شبیه‌سازی	دستگاه		شبیه‌سازی	دستگاه		شبیه‌سازی	دستگاه	
٤٥	٢٢٩٦	٢٣٠٠		٤٠	٤٢		١٧٢٦	١٧٠٠	
٦٠	٣٠٩٦	٣٠٩٠		٥٤	٥٧		٢٤٢٥	٢٣٩٨	٠/٩
٧٥	٤٠٦٤	٤١٥٠		٧١	٧٦		٣١٩٢	٣٠٠٦	
٩٠	٥٩٢٩	٦٠٠٠		١٠٤	٩٩		٤٥٨٠	٤٤٨٩	

پایایی دستگاه در هر زاویه در جدول ۳ نمایش داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که نتایج دستگاه در زوایای مختلف حرکتی از تکرارپذیری خوبی برخوردار هستند.

جدول ۳. حداکثر نیروی اعمالی توسط دستگاه در زوایای مختلف جهت بررسی پایایی نتایج آن

زاویه رهاسازی دستگاه (*deg*)	نیروی برخورد (N)	ضریب پایایی درون همبستگی Intraclass Correlation Coefficient
٤٥	٢٣٠٠	٠/٨
٦٠	٣٠٩٠	٠/٧
٧٥	٤١٥٠	٠/٧
٩٠	٦٠٠٠	٠/٧

بحث

هدف از این مطالعه طراحی و نمونه‌سازی دستگاهی برای ارزیابی کلاه در ورزش‌های رزمی بر اساس پارامترهای دینامیکی مرتبط با آسیب سر (شتاب خطی، شتاب چرخشی و نیروی برخورد) بود. مزیت اساسی استفاده از این دستگاه نسبت به روش‌های پیشین، توانایی اندازه‌گیری همزمان این پارامترهای دینامیکی است؛ علاوه بر آن، دستگاه حاضر قابلیت ضربه در زوایای مختلف حرکتی را داشته که در هر زاویه، نیروی متفاوتی به سر اعمال می‌شود. در روش‌های پیشین، این قابلیت با تغییر در ارتفاع و در نتیجه با ایجاد اختلاف پتانسیل گرانشی لازم در مجموعه سر و گردن امکان‌پذیر بوده، اما دقت بسیار بالاتری با دستگاه حاضر قابل دستیابی خواهد بود. این قابلیت مقدار خطا در نتایج مورد نظر را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. از طرفی دیگر، طراحی منحصر به فرد و نزدیک به هندسه و فیزیک ضربه واقعی پا به سر، خروجی‌های شتاب و نیرو را به حد قابل قبولی منطبق بر واقعیت به دست می‌دهد. جهت تعیین رابطه‌ای میان زاویه رهاسازی ضربه و مقدار نیروی اعمال‌شده، از برازش منحنی درجه سوم استفاده شد. تعداد مجهولات ($n+1$) یا همان ضرایب چند جمله‌ای، حداکثر می‌تواند به تعداد نقاط معلوم مقدار نیرو بر حسب زاویه حرکتی ضربه باشند. اگر تعداد مجهولات با تعداد نقاط معلوم برابر باشند، منحنی تقریب از همه نقاط عبور خواهد کرد، اما چون باید خطای اندازه‌گیری دستگاه و حسگرها را از یک سو و خطای تقریب چند جمله‌ای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

را نیز از سوی دیگر در نظر گرفت، سعی می‌شود که درجه چندجمله‌ای مناسب در نظر گرفته شود تا توامان با کوتاه بودن عبارت تقریب، میزان دقت مناسب را نیز به دست آید که معمولاً در آمار و ریاضیات از برازش منحنی تابع درجه سه استفاده می‌شود.

بدین منظور بازوی اهرم در ۹ زاویه رها شده و میانگین نیروی حاصل از آنها بدست آمد و با حل معادله سه جمله‌ای برازش منحنی، ضرایب معادله بدست آمدند. از این پس با قراردادن حداکثر نیروی پا در معادله (٤)، زاویه رهاسازی بازوی ضربه زننده براحتی بدست می‌آید. بعنوان مثال نیروی ٤٦٠٠ نیوتونی در زاویه‌ی ۸۰ درجه تأمین می‌شود. این قابلیت ضربه در زوایای مختلف حرکتی از مزایای این دستگاه است که در روش‌های پیشین ملاحظه نشده است. برای بررسی روایی این دستگاه، ابتدا دستگاه با نرم‌افزار آدامز شبیه‌سازی شد و با توجه به مطالعه تسویی و همکاران (۲۰۱۲) که برای شبیه‌سازی از برنامه نسترن استفاده کرده بودند، ضربه راندهوس کیک در شرایط مشابه و در سه سرعت ۱۲، ١٤ و ١٦ متر بر ثانیه به سر اعمال گردید (۱۱). خروجی‌های برنامه آدامز با ۵ درصد خطا مشابه با برنامه نسترن بود که این نتایج صحت روایی شبیه‌سازی پژوهش حاضر را تایید می‌کند. در مطالعات مهندسی برای روایی شبیه‌سازی، معمولاً نتایج پژوهش را با کارهای گذشته مقایسه می‌کنند که تنباکوساز و همکاران (٢٠١٤) نیز از این روش برای درستی‌سنجی نتایج خود استفاده کردند (۱۳). پس از اطمینان از نتایج شبیه‌سازی، چند ضربه در زوایای مختلف حرکتی از سوی دستگاه و برنامه آدامز به سر اعمال شد و همبستگی بین شتاب‌های خطی و چرخشی حاصل از دو روش بدست آمد. ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹ بدست آمد که نشان‌دهندهٔ روایی بسیار بالای دستگاه است و این مؤید امکان اعتماد به نتایج آن است؛ بدین ترتیب، محاسبه همزمان شتاب خطی و شتاب چرخشی سر با این دستگاه و با دقت بالایی انجام شدنی است.

بیش‌تر ضربه‌های وارد به سر در ورزش‌های رزمی علاوه بر تولید حرکت انتقالی سبب ایجاد چرخش در سر نیز می‌شوند. شتاب خطی اغلب توسط قدرت عضلات گردن تحمل یا خنثی می‌شود؛ بنابراین، پژوهشگران اظهار داشتند که با تقویت عضلات گردنی آسیب‌های این متغیر کاهش خواهد یافت (١٤)، اما چرخش سر حاصل از ضربه، با تولید شتاب چرخشی ممکن است سبب استرین برشی میان مغز و بافت همبند جمجمه شده و در نتیجه منجر به انتشار آسیب‌های آکسونی و خونریزی ساختارهای عروقی شود (۸)؛ بنابراین، فقط استفاده از شتاب خطی در بررسی میزان جذب ضربه کلاه در ورزش‌های مبارزه‌ای نمی‌تواند کافی باشد و در استاندراد ارزیابی کلاه‌ها باید شتاب چرخشی نیز در نظر گرفته شود که در روش حاضر این محدودیت برطرف شده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، دستگاه تکرارپذیری بالایی دارد که نتیجه طراحی دقیق و منطبق بر واقعیت ضربه پا به سر در ورزش در شرایط کاملاً کنترل شده است، در حالی‌که روش‌های گذشته از تکرارپذیری مناسبی برخوردار نبودند؛ مثلاً، در روش آونگی (٦) در چند ضربه متوالی محل برخورد ضربه یکسان نبود، جهت حرکت پس از ضربه قابل پیش‌بینی و کنترل نبوده و این منجر به اختلاف زیاد نتایج در ضربات مکرر می‌شد. از دستگاه فوق علاوه بر سنجش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]
[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]

کلاه‌ها می‌توان در بررسی بیومکانیک آسیب سر در ورزش‌های رزمی استفاده کرد؛ زیرا، پارامترهای مهم در طراحی کلاه حفاظتی مناسب، همان عوامل بروز آسیب در سر هستند. علاوه بر این، از آنجایی که ضربه وارد به سر در مسابقه فقط در راستای عمودی سر وارد نمی‌شود و امکان دارد در هر حالتی و در زوایای مختلف حرکتی سر، ضربه به آن اصابت کند؛ بنابراین، یکی دیگر از مزایای این دستگاه در نظر گرفتن این مهم در بررسی آسیب سر است. از دیگر مزایای دستگاه به طور خلاصه می‌توان به قابلیت تنظیم ارتفاع ضربه، قابلیت جداسازی تمامی همه اجزا و سرهم‌بندی در محل انجام آزمایش، تغییر زوایای مفاصل پا و نیز تغییر طول و جرم عضو ضربه زننده اشاره نمود که آن را از نقطه نظر امکان انجام آزمایشات مختلف ممتاز می‌نماید.

نتیجه‌گیری

طراحی و ساخت دستگاه ارزیابی کلاه در ورزش‌های رزمی ارایه‌شده در این تحقیق می‌تواند روشی برای جایگزینی روش‌های گذشته در ارزیابی کلاه‌ها باشد؛ ضمن این‌که از دستگاه ساخته‌شده می‌توان در آزمایشگاه‌های بالینی و علوم ورزشی برای ارزیابی میزان آسیب‌های وارد به سر ورزشکاران رزمی‌کار و معیارهای بیومکانیکی آن استفاده کرد.

منابع

1. McIntosh, A.S., Patton, D.A. (2015). The impact performance of headguards for combat sports. British Journal of Sports Medicine. 49(17):1113-7.
2. Zarzyn, T.R., Finch, C.F., McCrory, P. (2003). A 16 year study of injuries to professional boxers in the state of Victoria Australia. British Journal of Sports Medicine. 37(4):321-4.
3. Fife, G.P., O'Sullivan, D.M., Pieter, W., Cook, D.P., Kaminski, T.W. (2013). Effect of Olympic-style taekwondo kicks on an instrumented head-form and resultant injury measures. British Journal of Sports Medicine. 47(18):1161-5.
4. Mihalik, J.P., Lynal, R.C., Teel, E.F., Carneiro, K.A. (2014). Concussion management in soccer. Journal of Sport and Health Science. 3(4):307-13.
5. Hoshizaki, T., Post, A., Oeur. R.A., Brien, S.E. (2014). Current and future concepts in helmet and sports injury prevention. Neurosurgery. 75(4):136-48.
6. O'Sullivan, D.M., Fife, G.P., Pieter, W., Shin, I. (2013). Safety performance evaluation of taekwondo headgear. British Journal of Sports Medicine. 47(7):447-51.
7. O'Sullivan, D.M., Fife, G.P., Pieter, W., Lim, T., Shin, I. (2015). Resultant linear acceleration of an instrumented head form does not differ between junior and collegiate taekwondo athletes' kicks. Journal of Sport and Health Science. 5(2):226-30.
8. Schmitt, K.U., Niederer, P.F., Cronin, D.S., Muser, M.H., Walz, F. (2014). Trauma Biomechanics. Berlin: Springer. 60
9. Winter, D.A. (2009). Biomechanics and motor control of human movement. Hoboken: Wiley & Sons. 384.
10. Boroushak, N., Eslami, N., Kazemi, M., Daneshmandi, H., Johnson, J.A. (2018). The dynamic response of the taekwondo roundhouse kick to head using computer simulation. Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology. 18(2):54-60.
11. Tsui, F., Pain, M.T. (2012). Utilising human performance criteria and computer simulation to design a martial arts kicking robot with increased biofidelity. Journal of Sports Engineering & Technology. 226(3-4):244-52.
12. Meriam, L., Kraige, G. (2007). Dynamics; 6nd. Hoboken: Wiley & Sons. 57.
13. Tanbakoosaz, A., Azarafza, R., Saboni, M., Alinejad, M., Bahmani, A. (2015). Investigating the dynamic response of a punch to human head using finite element analysis. Engineering Solid Mechanics. 3(3):177-86.
14. Boroushak, N., Eslami, N., Daneshmandi, H. (2017). The effect of head linear acceleration and rotational acceleration on detection of brain damage in taekwondo. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 13(4):179-86. (Persian)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1398.17.17.4.4]

[DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37]