

Research Paper

**Biomechanical Profile of Wrestling Holds based on a Fuzzy Logic Algorithm of Elite Freestyle Wrestlers of Joybar City in Six Weight Classes**

**M. Amani<sup>1</sup>, M. Eslami<sup>2</sup>, A. Fayyaz Movaghar<sup>3</sup>, R. Yousefpour<sup>4</sup>**

1. Ph.D. student of Sports biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran (Corresponding Author)
3. Associate Professor, Faculty of Mathematical Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.
4. Associate Professor, Faculty of Mathematical Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

**Received Date: 2021/06/24**

**Accepted Date: 2021/08/10**

---

---

**Abstract**

The purpose of this study was to determine a biomechanical profile of wrestling holds based on a fuzzy logic algorithm of 57 elite freestyle wrestlers in Joybar city. Dynamic posture stability index, time to stability, linear momentum, upper limbs mechanical power were determined as biomechanical variables for the analysis of wrestling holds. Findings were: (1) The skill fitness profile of elite wrestlers were prepared in six weight classes by designing new tests for analysis of rear throw, crotch lift, bridge, double leg pickup, flying mare and over-under holds as well as three types of postures (right, left, and Japanese) (2) The fuzzy logic algorithm and principal component analysis could be used to score the skill fitness of each wrestler. Generally, the results emphasize the necessity for the analysis of wrestling holds using the standard tests and designing a scoring algorithm to compare the skill fitness of wrestlers in each weight class.

**Keywords:** Freestyle Wrestlers' Skill Fitness, Fuzzy Logic Algorithm, Principal Component Analysis Method

---

---

- 
1. Email: [morteza\\_amani\\_70@yahoo.com](mailto:morteza_amani_70@yahoo.com)
  2. Email: [msealami@gmail.com](mailto:msealami@gmail.com)
  3. Email: [a\\_fayyaz@umz.ac.ir](mailto:a_fayyaz@umz.ac.ir)
  4. Email: [yousefpour@umz.ac.ir](mailto:yousefpour@umz.ac.ir)

## **Extended Abstract**

### **Objectives**

Previous studies on wrestling have focused only on physiological and anthropometric determinants, while biomechanical aspects have been ignored in the analysis of wrestlers' performance. Thus, the aims of this study were: (1) to develop new tests for analyzing wrestlers' holds and to profile the fitness of elite freestyle wrestlers of Mazandaran province in six weight classes; (2) to evaluate the fitness of individual wrestlers using fuzzy logic algorithm and principal component analysis method.

### **Methods**

Fifty-seven elite male freestyle wrestlers of Joybar city in six weight classes A to F with mean body weights of 42.63, 53.22, 60.85, 71.46, 78.25, 94.30 kg were selected for the present study.

The simulation of the holds in two separate protocols was defined as follows:

#### **Dynamic stability**

The dynamic posture stability index (DPSI) and time to stability (TTS) variables were determined as measures of dynamic stability index. To measure these variables, wrestlers had to perform three types of postures (right, left, and Japanese) in 30 seconds.

#### **Linear momentum and mechanical power of upper limbs**

Rear throw, crotch lift, bridge, double leg pick up, flying mare, and over-under holds were selected to measure linear momentum and upper limb mechanical power variables. To simulate the wrestling holds, a cart with wheels and a rope attached to it was designed.

To establish the skill fitness profile, the results of the calculation of each variable were reported as mean and standard deviation. In order to evaluate the fitness of each weight class, the wrestlers' results for each variable were normalized to the Z standard value. After normalization, the fuzzy logic algorithm and principal component analysis method were used to evaluate the skill fitness of each weight class.

### **Results**

**Skill Fitness Profile of Elite Freestyle Wrestlers of Joybar City in Six Weight Classes (Means  $\pm$  Standard Deviation)**

variables	Weight class A	Weight class B	Weight class C	Weight class D	Weight class E	Weight class F
DPSI in right Stance	0.65 $\pm$ 0.10	0.63 $\pm$ 0.05	0.62 $\pm$ 0.09	0.61 $\pm$ 0.03	0.56 $\pm$ 0.05	0.53 $\pm$ 0.08
DPSI in left Stance	0.64 $\pm$ 0.07	0.64 $\pm$ 0.03	0.60 $\pm$ 0.08	0.60 $\pm$ 0.03	0.57 $\pm$ 0.04	0.55 $\pm$ 0.05
DPSI in Japanese Stance	0.61 $\pm$ 0.08	0.66 $\pm$ 0.06	0.62 $\pm$ 0.07	0.60 $\pm$ 0.05	0.56 $\pm$ 0.05	0.54 $\pm$ 0.06
TTS in right Stance (s)	0.20 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.10	0.18 $\pm$ 0.07	0.20 $\pm$ 0.08	0.24 $\pm$ 0.09	0.25 $\pm$ 0.09
TTS in left Stance (s)	0.21 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.05	0.22 $\pm$ 0.06	0.14 $\pm$ 0.08	0.20 $\pm$ 0.09	0.18 $\pm$ 0.09
TTS in Japanese Stance (s)	0.14 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.04	0.13 $\pm$ 0.05
Linear momentum in rear throw hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	0.81 $\pm$ 0.19	1.15 $\pm$ 0.28	1.12 $\pm$ 0.24	1.25 $\pm$ 0.22	1.36 $\pm$ 0.18	1.48 $\pm$ 0.26
Upper limbs mechanical power in rear throw hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.06 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.14	0.15 $\pm$ 0.10	0.26 $\pm$ 0.14	0.27 $\pm$ 0.11	0.35 $\pm$ 0.17
Linear momentum in crotch lift hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	1.19 $\pm$ 0.25	1.27 $\pm$ 0.26	1.43 $\pm$ 0.23	1.57 $\pm$ 0.29	1.50 $\pm$ 0.36	1.61 $\pm$ 0.41
Upper limbs mechanical power in crotch lift hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.19 $\pm$ 0.13	0.23 $\pm$ 0.13	0.32 $\pm$ 0.14	0.51 $\pm$ 0.17	0.40 $\pm$ 0.29	0.49 $\pm$ 0.38
Linear momentum in bridge hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	1.04 $\pm$ 0.13	1.29 $\pm$ 0.21	1.33 $\pm$ 0.24	1.57 $\pm$ 0.28	1.61 $\pm$ 0.24	1.59 $\pm$ 0.26
Upper limbs mechanical power in bridge hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.12 $\pm$ 0.05	0.23 $\pm$ 0.11	0.26 $\pm$ 0.12	0.42 $\pm$ 0.21	0.45 $\pm$ 0.22	0.43 $\pm$ 0.17
Linear momentum in double leg pickup hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	1.16 $\pm$ 0.15	1.25 $\pm$ 0.33	1.47 $\pm$ 0.42	1.55 $\pm$ 0.36	1.56 $\pm$ 0.39	1.80 $\pm$ 0.30
Upper limbs mechanical power in double leg pickup hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.16 $\pm$ 0.06	0.23 $\pm$ 0.19	0.39 $\pm$ 0.27	0.43 $\pm$ 0.24	0.45 $\pm$ 0.38	0.63 $\pm$ 0.26
Linear momentum in flying mare hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	0.93 $\pm$ 0.06	1.12 $\pm$ 0.26	1.18 $\pm$ 0.25	1.26 $\pm$ 0.23	1.43 $\pm$ 0.33	1.33 $\pm$ 0.28
Upper limbs mechanical power in flying mare hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.08 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.11	0.18 $\pm$ 0.11	0.22 $\pm$ 0.12	0.34 $\pm$ 0.25	0.26 $\pm$ 0.16
Linear momentum in over – under hold (Kg_m/s.kg <sup>-1</sup> )	1.26 $\pm$ 0.24	1.24 $\pm$ 0.22	1.49 $\pm$ 0.39	1.46 $\pm$ 0.34	1.50 $\pm$ 0.45	1.76 $\pm$ 0.19
Upper limbs mechanical power in over – under hold (W.kg <sup>-1</sup> )	0.12 $\pm$ 0.09	0.20 $\pm$ 0.10	0.39 $\pm$ 0.21	0.36 $\pm$ 0.22	0.43 $\pm$ 0.43	0.57 $\pm$ 0.18

**Skills fitness score of six weight classes (higher score = better fitness)**

	Weight class A	Weight class B	Weight class C	Weight class D	Weight class E	Weight class F
<b>Skill fitness score (0 to 100)</b>	49.65	46.36	58.03	55.60	44.43	51.14

**Conclusion**

The results indicated two major findings: (1) by developing new tests for analyzing holds such as rear throw, crotch lift, bridge, double leg pickup, flying mare, and over under, as well as for left, right and Japanese stances, the skill fitness profile of elite wrestlers in six weight classes was established; (2) fuzzy logic algorithm and principal component analysis could be used to evaluate the skill fitness of individual wrestlers in different weight classes. Generally, the results have highlighted the need for analyzing wrestlers' holds using standard tests and developing a scoring algorithm to compare the skill fitness of wrestlers in different weight classes.

مقاله پژوهشی

**تدوین نیمرخ بیومکانیکی فنون کشتی بر اساس الگوریتم منطق فازی در**

**کشتی‌گیران آزادکار نخبه شهرستان جویبار در شش گروه وزنی**

**مرتضی امانی<sup>۱</sup>، منصور اسلامی<sup>۲</sup>، افشین فیاض موقر<sup>۳</sup>، روح‌الله یوسف پور<sup>۴</sup>**

۱. دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
۲. دانشیار گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشیار گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
۴. دانشیار گروه علوم کامپیوتر، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ ارسال ۱۴۰۰/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۵/۱۹

**چکیده**

مطالعه حاضر با هدف تدوین نیمرخ بیومکانیکی فنون کشتی بر اساس الگوریتم منطق فازی در ۵۷ کشتی‌گیر آزادکار نخبه شهرستان جویبار انجام گردید. متغیرهای بیومکانیکی پایداری پاسچر دینامیکی، زمان رسیدن به پایداری، اندازه حرکت خطی تولیدی و توان مکانیکی بالاتنه برای تجزیه و تحلیل فنون تحلیل شدند. دو یافته اصلی عبارتند از: ۱- با طراحی آزمون‌های جدید برای هر یک از فنون بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر، تندر و سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی، نیمرخ آمادگی مهارتی کشتی‌گیران نخبه در شش گروه وزنی تهیه شد؛ ۲- با استفاده از روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی و الگوریتم منطق فازی می‌توان به آمادگی مهارتی هر یک از کشتی‌گیران نمره داد. یافته‌های پژوهش بر ضرورت توجه به تجزیه و تحلیل فنون کشتی با آزمون‌های استاندارد و طراحی الگوریتم‌های نمره دهی برای مقایسه آمادگی مهارتی کشتی‌گیران در هر گروه وزنی تأکید می‌کند.

**واژگان کلیدی:** آمادگی مهارتی کشتی‌گیران آزادکار، الگوریتم منطق فازی، آنالیز مؤلفه اصلی.

1. Email: morteza\_amani\_70@yahoo.com
2. Email: mseslami@gmail.com
3. Email: a\_fayyaz@umz.ac.ir
4. Email: yousefpour@umz.ac.ir

## مقدمه

در سال‌های اخیر همواره از شهرستان جویبار به‌عنوان پایتخت کشتی ایران یاد شده و استعداد‌های فراوانی از این شهر به تیم‌های ملی کشتی آزاد در رده‌های سنی مختلف معرفی شده‌اند. با وجود بیش از هزار کشتی‌گیر و چندین خانه کشتی برای پرورش این استعدادها در این شهرستان، هنوز بسترهای علمی برای کمک به مربیان در ایجاد شیوه‌های تمرینی مناسب که منجر به ارتقا عملکرد بدنی این کشتی‌گیران شود، فراهم نگردیده است. از طرف دیگر، در طول سالیان قبل افت‌وخیز نتایج کشتی‌گیران جویباری اعزام به مسابقات مختلف نشان می‌دهد که جهت پرورش استعداد‌های کشتی این منطقه نگاه علمی همه‌جانبه به این رشته ورزشی ضرورت دارد. با بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه کشتی در داخل کشور می‌توان به تحقیق میرزایی و همکاران اشاره نمود که در آن نیمرخ فیزیولوژیکی کشتی‌گیران نخبه آزادکار تدوین گردیده است (۱). همچنین در پژوهش‌های خارجی، کشورهای مصر (۲)، ترکیه (۳،۴)، ژاپن (۵)، شیلی (۶)، کانادا (۷)، چین (۸) و کلمبیا (۹) نیز نیمرخ فیزیولوژیک کشتی‌گیران نخبه کشور خود را تعیین نموده‌اند. با وجود این تحقیقات انجام‌شده و بر اساس اطلاعات محققین، تحقیقی که جنبه‌های بیومکانیکی و نیمرخ مرتبط با آن را بررسی نموده باشد، یافت نشد.

با مروری بر پیشینه پژوهش، مطالعاتی که به بررسی فنون مختلف از دیدگاه بیومکانیکی پرداخته باشند، محدود است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به بررسی بیومکانیک پل کشتی<sup>۱</sup> با هدف ایجاد رویکردی مناسب در به‌کارگیری نیرو در این فن (۱۰)، بررسی اعتبار تجزیه و تحلیل کینماتیک اندام تحتانی در طول اجرای فن کول‌انداز<sup>۲</sup> (۱۱)، بررسی اثرات حاد کم‌آبی<sup>۳</sup> بدن بر پارامترهای بیومکانیکی فنون کشتی (۱۲) و بررسی ویژگی‌های حرکتی فن زیر دو خم در کشتی‌گیران نخبه و غیرحرفه‌ای (۱۳) اشاره نمود. با وجود این، در این تحقیقات نورم مدونی از متغیرهای بیومکانیکی کلیدی که در اجرای فنون غالب هستند برای کشتی‌گیران داخل کشور یافت نشد. همچنین، به‌کارگیری روش‌های آماری نوین که بتوان بر اساس آن از اطلاعات به‌دست آمده نورم نمونه‌های آماری را با اعتبار بیشتری به‌دست آورد ارائه نشد.

آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)<sup>۴</sup> به‌عنوان یک روش کاهش ابعاد، اجازه می‌دهد تا گروهی از متغیرهای اولیه به مجموعه‌ی جدیدی از متغیرهای غیر همبسته به نام مؤلفه‌های اصلی تبدیل شوند. در گام بعدی، حتی اگر عملکرد کلی یک ورزشکار قابل پیش‌بینی باشد اما همیشه بیان دقیق ویژگی‌های رفتاری

- 
1. Bridge
  2. Arm-Throw Wrestling Technique
  3. Dehydration
  4. Principal Component Analysis

که برای رسیدن به هدف بهینه به کار می‌روند، امکان‌پذیر نیست. بنابراین، اگر تابعی را برای ارزیابی نتایج رفتار ورزشکاران در رسیدن به نتیجه مطلوب تعریف کرد، می‌توان به شناسایی این رفتارها دست یافت. مفهوم منطق فازی یکی از مفاهیم اساسی در الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. مجموعه‌های فازی ابزاری قدرتمند برای نمایش داده‌های نامشخص و مبهم هستند که از این قوانین برای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. با وجود این روش‌ها، تاکنون طبق اطلاعات محققین، شاخص مشخصی از متغیرهای بیومکانیکی در اجرای فنون کشتی‌گیران بر اساس روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی و منطق فازی تدوین نشده است.

برای ارزیابی آمادگی مهارتی کشتی‌گیران، باید آزمون‌های استاندارد طراحی نمود تا بر اساس نتایج آن مربیان بتوانند تحلیل بهتری از کیفیت برنامه‌های تمرینی و پیشرفت کشتی‌گیران در اجرای فنون در رده‌های وزنی مختلف داشته باشند. در این پژوهش، جهت اندازه‌گیری متغیرهای پایداری پاسچر دینامیکی، زمان رسیدن به پایداری، اندازه حرکت خطی و توان مکانیکی بالاتنه در اجرای فنون مختلف از شیوه آزمون‌سازی استفاده شد. سپس، میانگین و انحراف استاندارد هر یک از متغیرها در رده‌های وزنی مختلف به‌عنوان نیمرخ آمادگی مهارتی کشتی‌گیران تعیین گردید. در نهایت، از روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی و الگوریتم منطق فازی جهت تعیین نمره آمادگی کشتی‌گیران نخبه در اجرای فنون در هر رده وزنی استفاده شد. لذا هدف مطالعه حاضر طراحی آزمون‌های استاندارد و تدوین نیمرخ بیومکانیکی از فنون کشتی و تعیین جایگاه کشتی‌گیران در میزان آمادگی مهارتی در شش رده وزنی مختلف با روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی و الگوریتم منطق فازی در کشتی‌گیران شهرستان جویبار بود.

### روش پژوهش

پنجاه‌وهفت کشتی‌گیر آزادکار نخبه مرد شهرستان جویبار طبق معیارهای ورود که شامل نداشتن آسیب در اندام تحتانی و فوقانی، کسب حداقل یک عنوان در مسابقات استانی، کشوری و یا بین‌المللی و معرفی به‌عنوان استعداد برتر در گروه وزنی خود از طرف مربیان باتجربه این رشته ورزشی در این شهرستان برای پژوهش حاضر انتخاب شدند. آزمودنی‌ها پس از اطلاع از روند پژوهش، رضایت خود را مبنی بر شرکت در آزمون به‌صورت کتبی اعلام نمودند. ویژگی‌های آنترپومتریکی (میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد) هر یک از گروه‌های وزنی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های آنترپومتریکی (میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد) هر یک از گروه‌های وزنی

گروه وزنی	جرم بدن (کیلوگرم)	قد (سانتی‌متر)	سن (سال)	چربی بدن (درصد)
A (تعداد=۹)	۴۲/۶۳ $\pm$ ۱/۳۳	۱۵۱/۹۴ $\pm$ ۵/۸۱	۱۳ $\pm$ ۱/۳۲	۹ $\pm$ ۳/۴۸
B (تعداد=۱۱)	۵۳/۲۲ $\pm$ ۲/۳۲	۱۵۷/۵۵ $\pm$ ۱۰/۲۸	۱۳/۱۸ $\pm$ ۲/۱۴	۱۲/۲۷ $\pm$ ۷/۳۱
C (تعداد=۱۰)	۶۰/۸۵ $\pm$ ۲/۸۷	۱۶۹/۲۰ $\pm$ ۹/۱۳	۱۵/۱۰ $\pm$ ۱/۹۷	۸/۷۰ $\pm$ ۶/۵۴
D (تعداد=۱۲)	۷۱/۴۶ $\pm$ ۳/۱۱	۱۷۲/۳۸ $\pm$ ۳/۸۶	۲۰/۳۳ $\pm$ ۴/۰۵	۶/۶۱ $\pm$ ۲/۰۶
E (تعداد=۱۰)	۷۸/۲۵ $\pm$ ۲/۷۵	۱۷۷/۸۵ $\pm$ ۵۰/۵۴	۱۹/۹۰ $\pm$ ۴/۵۸	۸/۰۱ $\pm$ ۲/۵۵
F (تعداد=۵)	۹۴/۳۰ $\pm$ ۵/۰۷	۱۸۱ $\pm$ ۷/۹۷	۲۱/۶۰ $\pm$ ۳/۷۸	۱۱/۵۹ $\pm$ ۳/۴۱

\*گروه‌های وزنی A تا F بر اساس میانگین جرم بدنی کشتی‌گیران شرکت‌کننده در تحقیق شکل گرفته‌اند.

برای ثبت مؤلفه‌های کینماتیکی در طول اجرای فنون از یک دوربین ویدئویی مدل باسلر<sup>۱</sup> با سرعت تصویربرداری ۲۰۰ فریم در ثانیه استفاده شد. همچنین برای ثبت مؤلفه‌های کینتیکی از یک صفحه نیروسنج مدل کیستلر<sup>۲</sup> با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده شد. برای استفاده از داده‌های خام استخراج‌شده در محاسبات، کلیه داده‌های هر آزمودنی وارد نرم‌افزار متلب (MATLAB نسخه ۲۰۱۴) شد. نتایج حاصل از محاسبه هر متغیر به صورت میانگین و انحراف استاندارد گزارش گردید. بر اساس دستورالعمل تعریف‌شده برای اجرای آزمون و یکسان بودن مراحل اجرا، کشتی‌گیران می‌بایست با مشاهده فیلم آموزشی تهیه‌شده برای شبیه‌سازی فنون اقدام به اجرای هر یک از آنها می‌نمودند. شبیه‌سازی فنون در دو پروتکل مجزا به شکل زیر تعریف شد:

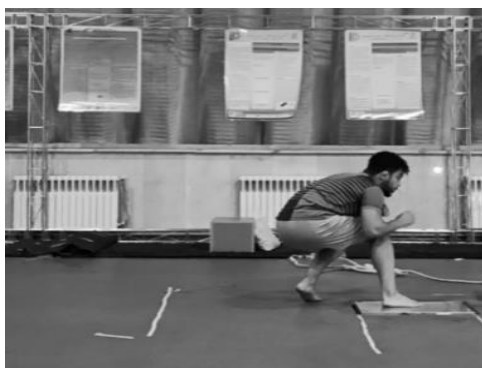
#### شاخص پایداری دینامیک

متغیر مورد اندازه‌گیری در بحث شاخص‌های پایداری شامل محاسبه زمان رسیدن به پایداری<sup>۳</sup> و شاخص پایداری پاسچر دینامیکی<sup>۴</sup> بود. برای اندازه‌گیری شاخص‌های پایداری، کشتی‌گیران می‌بایست سه نوع گارد<sup>۵</sup> (راست، چپ و ژاپنی) را در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه انجام می‌دادند. نحوه انجام آزمون بدین گونه بود که خطی در فاصله یک متری از صفحه نیرو ترسیم شد و از کشتی‌گیر خواسته شد که با شروع آزمون به سمت صفحه نیرو حرکت کند و با گارد مورد نظر پا را روی صفحه نیرو گذارد، حالت گارد موردنظر را بگیرد و بلافاصله به سمت خط شروع برگردد (تصویر ۱). کشتی‌گیر بعد از عبور از خط شروع می‌بایست به روی صفحه نیرو بازگردد و این عمل را به مدت ۳۰ ثانیه تکرار می‌کرد. برای

1. Basler
2. Kistler
3. Time to Stabilization
4. Dynamic postural Stability Index
5. Stance



هر نوع گارد، دو کوشش انجام شد که بهترین رکورد از لحاظ تعداد رفت و برگشت و درستی انجام گارد از نظر ناظر اجرای فنون ثبت شد. زمان استراحت بین هر یک از کوشش‌ها سه دقیقه در نظر گرفته شده بود.



تصویر ۱- نحوه اجرای گارد شبیه سازی شده برای اندازه‌گیری متغیرهای پایداری

شاخص پایداری پاسچر دینامیکی ترکیبی از پایداری در جهت‌های داخلی/جانبی، قدامی/خلفی و عمودی است که به تغییرات در هر سه جهت حساس است. این شاخص انحراف معیار نوسانات در محدوده نقطه صفر را ارزیابی می‌کند که در آن مقادیر بالاتر نشان‌دهنده تغییرپذیری بیشتر است. فرمول مورد استفاده برای محاسبه این شاخص در معادله زیر نمایش داده شده است (۱۴):

$$DPSI = \left\{ \sqrt{\frac{\sum(0-x)^2 + \sum(0-y)^2 + \sum(\text{body weight}-z)^2}{\text{number of data points}}} \right\} \div \text{body weight} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق:

X: نیروی عکس‌العمل زمین در جهت داخلی - خارجی

Y: نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی - خلفی

Z: نیروی عکس‌العمل زمین در جهت عمودی

Body weight: وزن بدن کشتی‌گیر

Number of data points: تعداد نقاط داده در هر کوشش

برای محاسبه متغیر زمان رسیدن به پایداری داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین حاصل از صفحه نیروسنج در جهت عمودی در مدت زمان ۳۰ ثانیه برای هر نوع گارد در نظر گرفته شد. داده‌های خام ثبت شده حاصل از صفحه نیروسنج توسط یک فیلتر پایین‌گذر با دستور باترورث چهار و با فرکانس برشی ۳۰ فیلتر شدند. برای تعیین آستانه، از محدوده ۹۵ تا ۱۰۵ درصدی وزن بدن هر کشتی‌گیر

استفاده شد. سپس، اولین لحظه‌ای که سیگنال در محدوده آستانه برای حداقل ۰/۲ ثانیه در هر رفت و برگشت از هر کوشش باقی می‌ماند، به‌عنوان نقطه پایداری در نظر گرفته شد. در نهایت، میانگین پایداری‌های به‌دست آمده از رفت و برگشت‌های انجام شده در طول یک کوشش به‌عنوان شاخص زمان رسیدن به پایداری برای آن گارد گزارش شد (۱۵).

### ۱. اندازه حرکت خطی و توان مکانیکی بالاتنه

بر اساس تجزیه و تحلیل مسابقات کشتی و نظر صاحب‌نظران این رشته ورزشی، فنون بارنداز<sup>۱</sup>، کنده فرنگی<sup>۲</sup>، پُل<sup>۳</sup>، زیر دو خم<sup>۴</sup>، فن کمر<sup>۵</sup> و تندر<sup>۶</sup> برای اندازه‌گیری متغیرهای اندازه حرکت خطی و توان مکانیکی بالاتنه انتخاب شدند. سه فن بارنداز، کنده فرنگی و پُل به‌عنوان فنون در خاک و سه فن زیر دو خم، فن کمر و تندر به‌عنوان فنون سرپا در نظر گرفته شدند. برای شبیه‌سازی فنون، یک گاری چرخ‌دار به همراه یک طناب متصل به آن طراحی شده بود. به منظور بررسی پایایی نتایج اندازه‌گیری گاری طراحی شده، از آزمون پایایی آزمون- باز آزمون<sup>۷</sup> استفاده گردید که در آن ضریب همبستگی بین آزمونی<sup>۸</sup> ۰/۸۳ بود. همچنین، برای نرمال‌سازی و شرایط یکسان برای تمام آزمودنی‌های تحقیق، جرم گاری با گذاشتن وزنه‌های آزاد بر روی آن با جرم بدن کشتی‌گیران همسان شد. برای شبیه‌سازی هر یک از فنون انتخاب‌شده، کشتی‌گیران می‌بایست اقدام به اجرای فنون مورد نظر همراه با کشش گاری می‌کردند. بدین‌صورت که کشتی‌گیر حالت فن مورد نظر را گرفته و در حالتی که قصد انجام فن را داشت با دو دست طناب متصل به گاری را با سوت مجری آزمون، با تمام توان به سمت خود می‌کشید، به‌گونه‌ای که انگار حریف را جابجا می‌کند (تصویر ۲). نکته مورد توجه در حین اجرای فنون این بود که گاری می‌بایست از خط شروع تعیین‌شده حداقل به میزان یک متر به سمت جلو حرکت داده می‌شد.

- 
1. Rear Throw
  2. Crotch Lift
  3. Bridge
  4. Double Leg Pickup
  5. Flying Mare
  6. Over-Under
  7. Test- Retest
  8. Interclass Correlation Coefficient



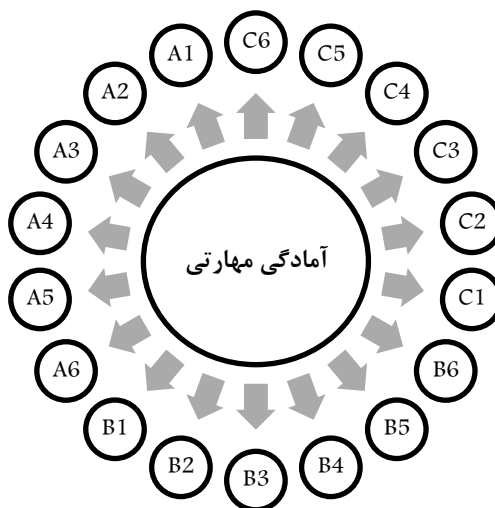
شکل ۲- نمونه‌ای از فن شبیه سازی شده و نحوه اجرای آن

برای محاسبه جابجایی خطی گاری، یک مارکر در قسمت جلوی گاری نصب گردید تا دوربین ثابت حرکت بتواند با ردیابی مسیر حرکت مارکر، جابجایی گاری را در زمان پیموده شده اندازه بگیرد. سپس، داده‌های جابجایی ثبت شده توسط یک فیلتر پایین گذر با دستور باترورث چهارم و با فرکانس برشی ۱۰ فیلتر شدند. سرعت متوسط گاری با استفاده از تغییرات جابجایی (x) نسبت به زمان (t) به دست آمد ( $\bar{V} = \Delta x / \Delta t$ ). در نهایت، اندازه حرکت خطی گاری از حاصل ضرب جرم گاری در سرعت متوسط آن محاسبه گردید (۱۶).

با استفاده از داده‌های کینماتیکی شتاب متوسط گاری ( $\bar{a}$ ) از طریق تغییرات سرعت نسبت به زمان محاسبه گردید ( $\bar{a} = \Delta v / \Delta t$ ). نیروی تولیدی افقی متوسط در کشش گاری ( $\bar{F}_x$ )، از طریق ضرب جرم گاری (m) در میانگین شتاب گاری تعیین گردید ( $\bar{F}_x = m \times \bar{a}$ ). سپس توان مکانیکی بالاتنه از حاصل ضرب نیروی متوسط در سرعت متوسط محاسبه گردید ( $\bar{P} = \bar{F}_x \times \bar{V}_x$ ) (۱۷).

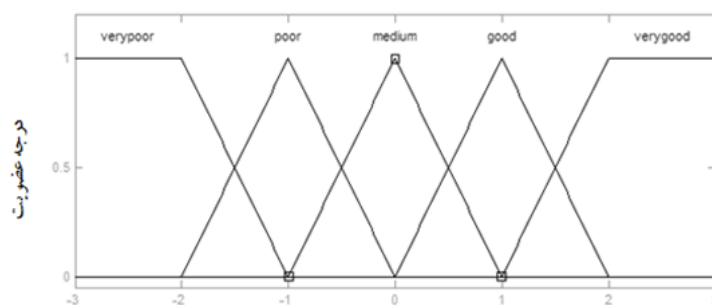
نتایج حاصل از محاسبه هر متغیر به صورت میانگین و انحراف استاندارد گزارش گردید. سپس، برای این که متغیرها قابل مقایسه با یکدیگر باشند، به نمره استاندارد Z نرمال شدند. بعد از نرمال شدن، سه عامل بیومکانیکی پایداری، اندازه حرکت تولیدی و توان مکانیکی به عنوان معیار آمادگی مهارتی هر کشتی‌گیر در نظر گرفته شد که در آن عامل پایداری شامل متغیرهای زمان رسیدن به پایداری و پایداری پاسچر دینامیکی در سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی، عامل اندازه حرکت تولیدی شامل متغیر اندازه حرکت خطی در شش فن بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر و تندر و در نهایت عامل توان مکانیکی شامل متغیر توان مکانیکی بالاتنه در شش فن منتخب بود (تصویر ۳). از آنجایی که برای استفاده از این عوامل در روش نمره دهی منطق فازی، نیاز به یک عدد (نمره یا مؤلفه اصلی) به عنوان نماینده آن عامل است و از طرفی تعداد متغیرهای مورد محاسبه برای هر یک از عوامل یکسان نیست؛ لذا روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی بر روی متغیرهای استاندارد شده به کار برده شد.

آنالیز مؤلفه اصلی یک روش آماری است که غالباً برای بررسی گروهی از متغیرهای همبسته بکار می‌رود و معمولاً برای کاهش بعد داده‌ها استفاده می‌شود. در این تحقیق آنالیز مؤلفه اصلی بر روی یک ماتریس  $n \times k$  اعمال شد، جایی که  $n$  تعداد مشاهدات و  $k$  تعداد متغیرهای محاسبه شده در هر عامل هستند. تعداد مؤلفه‌های اصلی مورد نیاز برای توصیف یک مجموعه از داده‌ها را می‌توان با استفاده از واریانس هر یک از آنها تعیین کرد. به منظور انتخاب تعداد مؤلفه‌هایی که باید برای مرحله بعدی تجزیه و تحلیل به کار برده شوند، از مؤلفه‌ای استفاده شد که بیشترین واریانس (درصد پوشش) را دارا بود.



تصویر ۳- سه عامل بیومکانیکی در نظر گرفته شده برای ارزیابی آمادگی مهارتی هر کشتی‌گیر و متغیرهای در نظر گرفته شده برای هر عامل: A: پایداری A1: پایداری پاسچر دینامیک در گارد راست A2: پایداری پاسچر دینامیک در گارد چپ A3: پایداری پاسچر دینامیک در گارد ژاپنی A4: زمان رسیدن به پایداری در گارد راست A5: زمان رسیدن به پایداری در گارد چپ A6: زمان رسیدن به پایداری در گارد ژاپنی B: اندازه حرکت تولیدی B1: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن بارنداز B2: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن کنده فرنگی B3: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن پُل B4: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن زیر دوخم B5: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن کمر B6: اندازه حرکت خطی تولیدی در فن تندر C: توان مکانیکی C1: توان مکانیکی بالاتنه در فن بارنداز C2: توان مکانیکی بالاتنه در فن کنده فرنگی C3: توان مکانیکی بالاتنه در فن پُل C4: توان مکانیکی بالاتنه در فن زیر دوخم C5: توان مکانیکی بالاتنه در فن کمر C6: توان مکانیکی بالاتنه در فن تندر

در گام بعدی، بعد از استاندارد شدن هر یک از متغیرها و پیدا کردن مؤلفه اصلی در هر یک از سه عامل بیومکانیکی تعیین شده، برای انجام تجزیه و تحلیل فازی نیاز بود که مؤلفه‌های اصلی به صورت نمرات کیفی ترتیبی تعریف گردند. از این رو، مدل نمره‌گذاری ورودی با پنج تابع عضویت مثلثی در پنج سطح: بسیار ضعیف<sup>۱</sup>، ضعیف<sup>۲</sup>، متوسط<sup>۳</sup>، خوب<sup>۴</sup> و بسیار خوب<sup>۵</sup> (تصویر ۴) تعریف شد. در مرحله بعد، الگوریتمی تعریف شد که بر اساس روابط فازی تعریف شده بین عوامل ورودی، نمره خروجی برای همه حالات تولید گردد. با سه عامل در نظر گرفته شده برای ارزیابی آمادگی مهارتی و پنج تابع عضویت مثلثی، تعداد روابط حاکم بین متغیرهای ورودی ۱۲۵ (۵<sup>۳</sup>) بود.



سطوح توابع عضویت مثلثی برای هر عامل

تصویر ۴- چیدمان توابع عضویت مثلثی برای هر عامل ورودی

## نتایج

جدول ۲ نیمرخ آمادگی مهارتی کشتی‌گیران نخبه شهرستان جویبار را در شش گروه وزنی در هر یک از متغیرهای شاخص پایداری پاسچر دینامیکی و زمان رسیدن به پایداری (ثانیه) در سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی و متغیرهای اندازه حرکت خطی (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن) و توان مکانیکی بالاتنه (وات بر جرم بدن) را در شش فن بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر و تندر نشان می‌دهد.

- 
1. Very Poor
  2. Poor
  3. Medium
  4. Good
  5. Very Good

جدول ۲- نیمرخ آمادگی مهارتی کشتی‌گیران نخبه شهرستان جویبار در شش گروه وزنی (میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد)

متغیر	گروه وزنی A	گروه وزنی B	گروه وزنی C	گروه وزنی D	گروه وزنی E	گروه وزنی F
شاخص پایداری پاسچر دینامیکی در گارد راست	0/65 $\pm$ 0/10	0/63 $\pm$ 0/05	0/62 $\pm$ 0/09	0/61 $\pm$ 0/03	0/56 $\pm$ 0/05	0/53 $\pm$ 0/08
شاخص پایداری پاسچر دینامیکی در گارد چپ	0/64 $\pm$ 0/07	0/64 $\pm$ 0/03	0/60 $\pm$ 0/08	0/60 $\pm$ 0/03	0/57 $\pm$ 0/04	0/55 $\pm$ 0/05
شاخص پایداری پاسچر دینامیکی در گارد ژاپنی	0/61 $\pm$ 0/08	0/66 $\pm$ 0/06	0/62 $\pm$ 0/07	0/60 $\pm$ 0/05	0/56 $\pm$ 0/05	0/54 $\pm$ 0/06
زمان رسیدن به پایداری در گارد راست (ثانیه)	0/20 $\pm$ 0/07	0/19 $\pm$ 0/10	0/18 $\pm$ 0/07	0/18 $\pm$ 0/08	0/24 $\pm$ 0/09	0/25 $\pm$ 0/09
زمان رسیدن به پایداری در گارد چپ (ثانیه)	0/21 $\pm$ 0/07	0/17 $\pm$ 0/05	0/22 $\pm$ 0/06	0/14 $\pm$ 0/08	0/20 $\pm$ 0/09	0/18 $\pm$ 0/09
زمان رسیدن به پایداری در گارد ژاپنی (ثانیه)	0/14 $\pm$ 0/05	0/12 $\pm$ 0/03	0/16 $\pm$ 0/06	0/16 $\pm$ 0/06	0/15 $\pm$ 0/04	0/13 $\pm$ 0/05
اندازه حرکت خطی در فن بارنداز (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/81 $\pm$ 0/19	0/28 $\pm$ 0/15	0/24 $\pm$ 0/12	0/22 $\pm$ 0/25	0/36 $\pm$ 0/18	0/26 $\pm$ 0/48
توان مکانیکی بالاتنه در فن بارنداز (وات بر جرم بدن)	0/06 $\pm$ 0/04	0/14 $\pm$ 0/18	0/10 $\pm$ 0/15	0/14 $\pm$ 0/26	0/11 $\pm$ 0/27	0/17 $\pm$ 0/35
اندازه حرکت خطی در فن کننده فرنگی (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/25 $\pm$ 0/19	0/26 $\pm$ 0/27	0/23 $\pm$ 0/43	0/29 $\pm$ 0/57	0/36 $\pm$ 0/50	0/41 $\pm$ 0/61
توان مکانیکی بالاتنه در فن کننده فرنگی (وات بر جرم بدن)	0/13 $\pm$ 0/13	0/13 $\pm$ 0/23	0/14 $\pm$ 0/32	0/17 $\pm$ 0/51	0/29 $\pm$ 0/40	0/38 $\pm$ 0/49
اندازه حرکت خطی در فن پُل (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/13 $\pm$ 0/13	0/21 $\pm$ 0/29	0/24 $\pm$ 0/33	0/28 $\pm$ 0/57	0/24 $\pm$ 0/61	0/26 $\pm$ 0/59
توان مکانیکی بالاتنه در فن پُل (وات بر جرم بدن)	0/12 $\pm$ 0/05	0/11 $\pm$ 0/23	0/12 $\pm$ 0/26	0/21 $\pm$ 0/42	0/22 $\pm$ 0/45	0/17 $\pm$ 0/43
اندازه حرکت خطی در فن زیر دو خم (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/16 $\pm$ 0/15	0/33 $\pm$ 0/25	0/42 $\pm$ 0/47	0/36 $\pm$ 0/55	0/39 $\pm$ 0/56	0/30 $\pm$ 0/80
توان مکانیکی بالاتنه در فن زیر دو خم (وات بر جرم بدن)	0/06 $\pm$ 0/06	0/19 $\pm$ 0/23	0/27 $\pm$ 0/39	0/24 $\pm$ 0/43	0/38 $\pm$ 0/45	0/26 $\pm$ 0/63
اندازه حرکت خطی در فن کمر (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/93 $\pm$ 0/06	0/26 $\pm$ 0/12	0/25 $\pm$ 0/18	0/23 $\pm$ 0/26	0/33 $\pm$ 0/43	0/28 $\pm$ 0/33
توان مکانیکی بالاتنه در فن کمر (وات بر جرم بدن)	0/08 $\pm$ 0/01	0/11 $\pm$ 0/16	0/11 $\pm$ 0/18	0/12 $\pm$ 0/22	0/25 $\pm$ 0/34	0/16 $\pm$ 0/26
اندازه حرکت خطی در فن تندر (کیلوگرم متر بر ثانیه بر جرم بدن)	0/24 $\pm$ 0/36	0/22 $\pm$ 0/24	0/39 $\pm$ 0/49	0/34 $\pm$ 0/46	0/45 $\pm$ 0/50	0/19 $\pm$ 0/76
توان مکانیکی بالاتنه در فن تندر (وات بر جرم بدن)	0/09 $\pm$ 0/12	0/10 $\pm$ 0/20	0/21 $\pm$ 0/39	0/22 $\pm$ 0/36	0/43 $\pm$ 0/43	0/18 $\pm$ 0/57

جدول ۳ میانه (دامنه تغییرات) مؤلفه‌های اصلی در هر یک از عوامل پایداری، اندازه حرکت تولیدی و توان مکانیکی و نمره آمادگی مهارتی هر یک از شش گروه وزنی را نشان می‌دهد. بازه مؤلفه‌های اصلی در هر یک از عوامل بین ۳+ تا ۳- است که در آن نمره ۳- نمره خیلی ضعیف و نمره ۳+ نمره خیلی خوب تلقی می‌شود. همچنین، نمره آمادگی مهارتی هر گروه وزنی در ردیف آخر جدول ۳ گزارش گردیده است که این نمره بر اساس خروجی الگوریتم منطق فازی در بازه صفر تا ۱۰۰ تعریف شده است که در آن هر چه نمره گزارش شده به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آمادگی مهارتی بیشتر آن گروه وزنی است.

جدول ۳- میانه (دامنه تغییرات) مؤلفه‌های اصلی در هر یک از عوامل پایداری، اندازه حرکت تولیدی و توان مکانیکی و نمره آمادگی مهارتی هر یک از شش گروه وزنی

عوامل آمادگی مهارتی	گروه وزنی A	گروه وزنی B	گروه وزنی C	گروه وزنی D	گروه وزنی E	گروه وزنی F
پایداری (درصد پوشش ۵۷/۷۹)	۰/۰۰	-۰/۲۰	۰/۳۶	-۰/۱۴	-۰/۱۹	۰/۰۴
اندازه حرکت تولیدی (درصد پوشش ۵۶/۷۶)	-۰/۳۹	-۰/۰۳	۰/۵۸	۰/۱۳	-۰/۴۸	۰/۱۱
توان مکانیکی (درصد پوشش ۴۸/۴۵)	-۰/۰۱	-۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۴	-۰/۱۱	۰/۰۱
نمره آمادگی مهارتی	۴۹/۶۵	۴۶/۳۶	۵۸/۰۳	۵۵/۶۰	۴۴/۴۳	۵۱/۱۴

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام پژوهش حاضر تدوین نیمرخ بیومکانیکی فنون کشتی بر اساس الگوریتم منطق فازی در کشتی‌گیران آزادکار نخبه شهرستان جویبار در شش گروه وزنی بود. ورزش کشتی شامل حرکات تکرارشونده با شدت زیاد (در حمله‌ها و ضد حمله‌ها) است. با توجه به ماهیت این رشته ورزشی که در آن حریفان در هنگام اجرای فنون دائماً در حال کشیدن و هل دادن یکدیگر هستند، داشتن ظرفیت‌های بسیار پیشرفته در عواملی پایداری و حفظ تعادل در جریان مسابقه امری مهم تلقی می‌شود (۱۰). ارزیابی کنترل پاسچر در طول حرکت یک عامل اندازه‌گیری مهم برای اهداف قهرمانی در بین کشتی‌گیران در تعیین ثبات و هماهنگی عصبی عضلانی است؛ بنابراین، تشخیص ویژگی‌های مرتبط باثبات و پایداری بدن در طول جابجایی‌ها ضروری است. در پژوهش حاضر، متغیرهای زمان رسیدن به پایداری و شاخص پایداری پاسچر دینامیکی در سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی بررسی شدند.

در بررسی متغیر پایداری پاسچر دینامیکی، نتایج جدول ۲ نشان داد که در هر سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی گروه وزنی F دارای مقادیر کمتری از این شاخص نسبت به سایر گروه‌های وزنی است. شاخص پایداری پاسچر دینامیکی پایین در این گروه وزنی بیانگر آن است که کشتی‌گیران این گروه وزنی برای به دست آوردن پایداری و ثبات در حین انجام هر سه نوع گارد نیرو کمتری را به زمین اعمال کرده‌اند. در مقابل، در گارد راست گروه وزنی A، در گارد چپ گروه‌های وزنی A و B و در گارد ژاپنی گروه وزنی B دارای مقادیر بالاتری از متغیر پایداری پاسچر دینامیکی هستند. به‌طور خاص، یافته‌ها حاصل از این متغیر نشان می‌دهد که با افزایش جرم بدنی در هر یک از گروه‌های وزنی میزان شاخص پایداری پاسچر دینامیکی کاهش یافته است.

در متغیر زمان رسیدن به پایداری، یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد در گارد ژاپنی نسبت به دو گارد راست و چپ، کشتی‌گیران تمام گروه‌های وزنی در مدت زمان کمتری به پایداری رسیده‌اند. این زودتر رسیدن به پایداری ممکن است ناشی از مکانیک غالب بر این گارد باشد؛ زیرا در گارد ژاپنی جرم بدن به‌طور تقریباً یکسانی روی هر دو پا قرار دارد و پاها به موازات یکدیگر هستند اما در دو گارد راست و چپ یکی از پاها جلوتر از پای دیگر است. علاوه بر این، زمان رسیدن به پایداری طولانی‌تر نشان‌دهنده دشواری بیشتر در کنترل پاسچر است و ممکن است اختلال در کنترل عصبی عضلانی را نشان دهد، لذا این یافته می‌تواند بیانگر آن باشد که کشتی‌گیران گروه‌های وزنی مختلف دارای کنترل عصبی عضلانی بهتری در انجام گارد ژاپنی نسبت به دو گارد دیگر هستند. این یافته تا حدی با مقادیر زمان رسیدن به پایداری در فرود تک‌پا همسو است (۱۵). به‌طور کلی، می‌توان گفت که دو متغیر زمان رسیدن به پایداری و شاخص پایداری پاسچر دینامیکی می‌توانند معیار خوبی برای نشان دادن پایداری کشتی‌گیر در حین جلو و عقب رفتن‌های مکرر باشد، زیرا پایداری منعکس‌کننده نوسان و میزان حرکت مرکز ثقل بدن است.

یکی از چالش‌های عمده برای محققان مطالعه حرکت انسان، توصیف چگونگی مداخلات دینامیکی بین اندام‌های مرتبط برای تولید رفتار حرکتی مؤثر و کارآمد است. اخیراً، چندین محقق به لزوم بررسی بیشتر نقش تنه و اندام فوقانی در حرکت‌های مربوط به کل بدن اشاره کرده‌اند (۱۰، ۱۱، ۱۸). با این حال، اطلاعات کمی در مورد مداخلات اندام‌های فوقانی، تنه و اندام تحتانی در فنون کشتی که شامل انتقال کل بدن است، وجود دارد. در مطالعه حاضر، شش فن رایج در کشتی برای اندازه‌گیری مداخلات بین اندام‌های بدن<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفت.

یکی از یافته‌های اصلی در بررسی اندازه‌گیری مداخلات بین اندام‌های بدن آن بود که با افزایش جرم بدنی کشتی‌گیران در شش گروه وزنی میزان اندازه حرکت خطی تولیدی در تمام فنون شبیه‌سازی

## 1. Interactions Between Linked Segments



شده افزایش یافت. شاید در نگاه اولیه این یافته برخلاف ماهیت اجرای فنون توسط کشتی‌گیران سبک‌وزن باشد؛ زیرا در دنیای واقعی کشتی‌گیران سبک‌وزن فنون را با سرعت بیشتری انجام می‌دهند، اما باید توجه نمود که سرعت اجرای حرکت متفاوت از اندازه حرکت تولیدی توسط ورزشکار است. در واقع، اندازه حرکت خطی تولید شده در اجرای فنون متأثر از نیروی کششی اعمال شده به گاری است (رابطه ضربه - اندازه حرکت) که در آن هر چقدر کشتی‌گیر بتواند با نیروی بیشتری طناب متصل به گاری را بکشد، در نتیجه اندازه حرکت خطی بیشتری را تولید می‌کند. همچنین، با تجزیه و تحلیل هر یک از فنون بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر و تندر در متغیر اندازه حرکت تولیدی در جدول ۲ می‌توان پی برد که کشتی‌گیران گروه‌های وزنی B و C و D و E و F توانسته‌اند به طور میانگین بیش از یک برابر جرم بدن خود اندازه حرکت خطی در طول اجرای فنون تولید کنند؛ و تنها کشتی‌گیران گروه وزنی A در اجرای فنون بارنداز و فن کمر نتوانسته‌اند بیش از یک برابر جرم بدن خود اندازه حرکت خطی تولید کنند. به عنوان یک نتیجه می‌توان بیان نمود که با وجود شرایط یکسان در شبیه‌سازی فنون، کشتی‌گیران با جرم بدنی بیشتر توانسته‌اند نیروی کششی بیشتری را به گاری اعمال کنند که مطابق آن اندازه حرکت خطی بیشتری در گاری ایجاد شده است. اندازه حرکت تولیدی بیشتر توسط کشتی‌گیران با جرم بدنی بیشتر در طول اجرای فنون می‌تواند وابسته به ویژگی فیزیولوژیکی و تسلط بر اجرای فنون باشد.

در مبحث توان مکانیکی تولیدشده در اندام‌های بالاتنه، نتایج جدول ۲ نشان داد که گروه وزنی A در تمام فنون نسبت به سایر گروه‌های وزنی مقادیر کمتری توان مکانیکی تولید کرده است. کمتر بودن میانگین توان مکانیکی تولیدشده توسط گروه وزنی A در طول اجرای فنون می‌تواند ناشی از اعمال کم نیرو برای کشش گاری باشد (طبق رابطه ضربه و اندازه حرکت). علاوه بر این، با بررسی تک‌تک فنون در جدول ۲ می‌توان پی برد که میانگین توان مکانیکی تولیدی در هر شش فن بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر، تندر تقریباً کمتر از نیم برابر جرم بدن کشتی‌گیران است. بر این اساس، می‌توان گفت که اگر کشتی‌گیران در طول اجرای فنون به دنبال افزایش توان مکانیکی تولیدی به بیش از نیم برابر جرم بدن خود هستند، هم باید نیروی کششی بیشتری را برای کشیدن گاری به کار ببرند و هم باید سرعت اجرای حرکت خود را افزایش دهند.

جدول ۳ نمره کسب‌شده توسط هر گروه وزنی را در هر یک از عوامل پایداری، اندازه حرکت تولیدی و توان مکانیکی نشان می‌دهد که در عامل پایداری و اندازه حرکت تولیدی گروه وزنی C و در عامل توان مکانیکی گروه وزنی D بیشترین نمره را نسبت به سایر گروه‌های وزنی کسب نموده‌اند. طبق این نتایج، خروجی الگوریتم منطق فازی نشان داد گروه وزنی B با مجموع نمره ۵۸/۰۳ از ۱۰۰، بیشترین نمره را در میان شش گروه وزنی اخذ نموده است که بیانگر بالاتر بودن آمادگی مهارتی کشتی‌گیران

این گروه وزنی نسبت به سایر کشتی‌گیران گروه‌های وزنی دیگر می‌باشد. در مقابل، گروه وزنی E با کسب نمره‌های ضعیف در هر سه عامل پایداری، اندازه حرکت تولیدی و توان مکانیکی، دارای نمره آمادگی مهارتی پایین (۴۴/۴۳) نسبت به سایر گروه‌های است. به عنوان یک نتیجه، می‌توان گفت که با طراحی این الگوریتم هر مربی کشتی می‌تواند به آمادگی مهارتی ورزشکار خود نمره دهد. علاوه بر این، کشتی‌گیران می‌توانند به نقاط ضعف خود در هر یک از این عوامل پی ببرند تا بدین طریق به ارتقاء نقاط ضعف خود در آن عامل بپردازند.

به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از مباحث مطرح‌شده، می‌توان دو یافته اصلی را از این پژوهش استنتاج نمود: ۱- با طراحی آزمون‌های جدید برای تجزیه و تحلیل بیومکانیکی فنون بارنداز، کنده فرنگی، پُل، زیر دوخم، فن کمر، تندر و سه نوع گارد راست، چپ و ژاپنی، نیمرخ آمادگی مهارتی کشتی‌گیران آزادکار نخبه شهرستان جویبار در شش گروه وزنی تهیه شد؛ ۲- با استفاده از روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی و الگوریتم منطق فازی می‌توان به آمادگی مهارتی هر یک از کشتی‌گیران نمره داد. این یافته‌ها می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که برای تجزیه و تحلیل دقیق عملکرد یک ورزشکار در طول تمرینات نیاز است که مربیان ابتدا از آزمون‌های استاندارد برای اندازه‌گیری عوامل مؤثر بر عملکرد ورزشکاران استفاده کنند و سپس با طراحی این الگوریتم‌های نمره‌دهی امکان مقایسه آمادگی مهارتی کشتی‌گیران را فراهم آورند.

نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مقایسه آمادگی مهارتی کشتی‌گیران نخبه شهرستان جویبار با سایر کشتی‌گیران شرکت‌کننده در پژوهش‌های آتی در داخل کشور باشد؛ تا بدین طریق بتوان در ابعاد بزرگ‌تر زمینه ایجاد نورم ملی را فراهم آورد. در مطالعه حاضر، به منظور تعیین نماینده هر عامل آمادگی مهارتی از روش آماری آنالیز مؤلفه اصلی استفاده شد که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از روش‌های پیش‌بینی مانند روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای این امر استفاده گردد. همچنین، برای ارزیابی جامع آمادگی بدنی کشتی‌گیران ضروری است متغیرهای بیومکانیکی در کنار متغیرهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شود تا بدین طریق مربیان بتوانند نمای کلی از رفتار بدنی ورزشکاران خود در طول تمرینات داشته باشند.

### تشکر و قدردانی

مقاله ارائه‌شده مستخرج از رساله دوره دکتری بیومکانیک ورزشی دانشگاه مازندران است. بدین وسیله ضمن تشکر از کلیه کشتی‌گیران شرکت‌کننده در این پژوهش، از دانشجویان ارشد و دکتری گروه بیومکانیک دانشگاه مازندران برای مشارکت و کمک در فرایند جمع‌آوری داده‌های آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌کنیم.

**منابع**

1. Mirzaei B, Curby DG, Rahmani-Nia F, Moghadasi M. Physiological profile of elite Iranian junior freestyle wrestlers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009; 23(8): 2339-44.
2. Saad AH. Physiological profile of the young Egyptian wrestlers. *World Journal of Sport Sciences*. 2012; 6(1):45-50.
3. Demirkan E, Kutlu M, Koz M, Özal M, Favre M. Physical fitness differences between freestyle and Greco-Roman junior wrestlers. *Journal of human kinetics*. 2014; 41(1): 245-51.
4. Bayraktar I, Koc H. A study of profile and comparison for Turkish Greco-Roman and freestyle wrestlers who prepared for Rio. 2016. *Ovidius University Annals, Series Physical Education & Sport/Science, Movement & Health*. 2017; 17(2):190-9.
5. Yamashita D, Arakawa H, Arimitsu T, Wada T, Yumoto K, Fujiyama K, et al. Physiological Profiles of International-and Collegiate-Level Japanese Male Freestyle Wrestlers in the Lightweight Classes. *International Journal of Wrestling Science*. 2017; 7(1-2):21-5.
6. Venegas-Cárdenas D, Caibul-Díaz R, Mons V, Valdés-Badilla P, Pichon A, Cuadra D, et al. Physical and physiological profile in youth elite Chilean wrestlers. *Archives of Budo*. 2019; 15: 249-57.
7. Sharratt M, Taylor A, Song T. A physiological profile of elite Canadian freestyle wrestlers. *Canadian journal of applied sport sciences Journal canadien des sciences appliquées au sport*. 1986; 11(2):100.
8. Zi-Hong H, Lian-Shi F, Hao-Jie Z, Kui-Yuan X, Feng-Tang C, Da-Lang T, et al. Physiological profile of elite Chinese female wrestlers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013; 27(9): 2374-95.
9. Ramirez-Velez R, Argothyd R, Meneses-Echavez JF, Sanchez-Puccini MB, Lopez-Alban CA, Cohen DD. Anthropometric characteristics and physical performance of colombian elite male wrestlers. *Asian journal of sports medicine*. 2014; 5(4).
10. Arakchiyski Z, Stanchev N. Biomechanical model of wrestling bridge. *Activities in Physical Education & Sport*. 2016; 6(1): 86-9.
11. Stordopoulos D, Giannakou E, Manaveli P, Barbas I, Gourgoulis V, Aggeloussis N. Reliability of Lower Limb Kinematics during the Arm-Throw Wrestling Technique. *International Journal of Wrestling Science*. 2016; 6(2): 67-73.
12. Moghaddami A, Gerek Z, Karimiasl A, Nozohouri H. The effect of acute dehydration and rehydration on biomechanical parameters of elite wrestling techniques. *J Sport Sci*. 2016; 4: 93-101.
13. Yamashita D, Arakawa H, Wada T, Yumoto K, Fujiyama K, Nagami T, et al. Whole-Body Mechanics of Double-Leg Attack in Elite and Non-elite Male Freestyle Wrestlers. *Frontiers in sports and active living*. 2020; 2.

14. Sell TC. An examination, correlation, and comparison of static and dynamic measures of postural stability in healthy, physically active adults. *Physical Therapy in Sport*. 2012; 13(2): 80-6.
15. Fransz DP, Huurnink A, de Boode VA, Kingma I, van Dieën JH. Time to stabilization in single leg drop jump landings: an examination of calculation methods and assessment of differences in sample rate, filter settings and trial length on outcome values. *Gait & posture*. 2015; 41(1): 63-9.
16. Ramsey DK, Crotin RL, White S. Effect of stride length on overarm throwing delivery: A linear momentum response. *Human movement science*. 2014; 38:185-96.
17. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of applied biomechanics*. 2007; 23(2):103-18.
18. Moufti H, Arfaoui A. Kinematic analysis of the " attack to the legs" from wrestling: impact of prior judo expertise. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*. 2019 (1).

## ارجاع دهی

امانی مرتضی، اسلامی منصور، فیاض موقر افشین، یوسف پور روح الله. تدوین نیمرخ بیومکانیکی فنون کشتی بر اساس الگوریتم منطق فازی در کشتی گیران آزادکار نخبه شهرستان جویبار در شش گروه وزنی. *مطالعات طب ورزشی*. پاییز و زمستان ۱۳۹۹؛ ۱۲(۲۸)، ۵۲-۲۳۳. شناسه دیجیتال: 10.22089/SMJ.2021.10738.1513

Amani M, Eslami M, Fayyaz Movaghar A, Yousefpour R. Biomechanical Profile of Wrestling Holds Based on Fuzzy Logic Algorithm of Elite Freestyle Wrestlers of the City of Joybar in Six Weight Classes. *Sport Medicine Studies*. Fall & Winter 2021; 12 (28): 233-52. (Persian). Doi: 10.22089/SMJ.2021.10738.1513