

حرکت

سال اول - شماره ۳ - زمستان ۱۳۷۸

ص ص: ۲۱ - ۷

تجزیه و تحلیل بیومکانیکی وارو در ژیمناستیک از طریق اندازه‌گیری نیروها و زوایا در تیک آف و فرود

دکتر مرتضی شهبازی مقدم - دکتر مهرعلی همتی نژاد
آذرمیدخت آذری حمیدیان

دانشیار گروه فیزیک دانشگاه تهران - استادیار دانشکده تربیت بدنی دانشگاه گیلان
کارشناس ارشد دانشکده تربیت بدنی دانشگاه گیلان

چکیده

هدف از این مطالعه اندازه‌گیری و بررسی نیروها و زوایا در مراحل مختلف حرکت وارو به همراه دو مرحله مقدماتی آن شامل دورخیز و پیچ می‌باشد. در این تحقیق بدون استفاده از صفحه نیرو و الکترومایوگرافی (EMG) به روشی غیرمستقیم با استفاده از یک مدل ریاضی متغیرهای سینماتیکی در سه مرحله کار مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و با استفاده از روش‌های آماری ارتباط آنها با یکدیگر سنجیده شد. آزمودنی‌ها از ۱۵ ژیمناست پسر با دامنه سنی 2 ± 11 سال عضو تیم ژیمناستیک استان گیلان تشکیل شده بودند. اجراها توسط یک دوربین ویدئویی ۲۵ HZ فیلمبرداری می‌شد. به این ترتیب از طریق سینماتیک دو بعدی و تجزیه و تحلیل بیومکانیکی مشخصه‌های با ارزشی به دست آمده که با

نتایج به دست آمده توسط سیستم‌های پیشرفته مطابقت دارد.

در این تحقیق علاوه بر اندازه‌گیری سعی بر آن بود که ارتباطی منطقی بین متغیرها حاصل شود. بر اساس نتایج به دست آمده، همبستگی بسیار بالایی میان ارتفاع پرواز و متغیرهایی از قبیل زاویه تیک آف، سرعت تیک آف، نیروی عضلات پا در تیک آف و مسافت وجود دارد. در رابطه با یافته‌های تحقیق می‌توان گفت که سرعت تیک آف یک عامل تکنیکی بسیار مهم برای پیشرفت مهارت است. اگر این سرعت با زاویه مناسبی از پرواز به سمت بالا ترکیب شود می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر اجرای مهارت داشته باشد. داشتن زاویه پرواز مناسب می‌تواند نیروی عکس‌العمل مؤثری را به همراه داشته باشد که در کسب ارتفاع لازم جهت اجرای مهارت مفید واقع شود. از طرفی زاویه فرود در داشتن فرودی مناسب همراه با تعادل مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

ژیمناستیک، تحلیل بیومکانیک، وارو، اندازه‌گیری نیروها و زوایا

مقدمه

در طول سالیان متمادی، انسان برای پیشبرد و ترقی اجزای حرکتی شدید و مداوم تلاش نموده است. به نظر می‌رسد ما همواره خواهان بالاتر پریدن، سریعتر دویدن، دورتر پرتاب کردن و نشان دادن برتری‌های قدرتی و مهارتی خود بوده‌ایم. از دعوت به مبارزه و پاسخ به دعوت حریفان لذت می‌بریم و به طور طبیعی بسیار رقابت طلب هستیم. از این رو انسان در پی روش‌هایی است که بتواند به توسعه اجزای حرکتی او منجر شود. برپایی رکوردهای جدید بویژه در ورزش‌های انفرادی موجب شد که به زمینه‌های علمی بیومکانیک توجه بیشتری مبذول گردد. اعتقاد بر این است که با استفاده از تجزیه و تحلیل مکانیکی و زمینه‌های ریاضی می‌توان اجزای حرکتی را توسعه داد. برای یک معلم و مربی ورزش تشخیص اشتباهات در اجزای حرکتی و اصلاح آنها بسیار حائز اهمیت است. برای شناسایی اشتباهات ابتدا باید علت اصلی اشتباه را پیدا کرد، ولی در بیشتر مواقع مربیان صرفاً سعی دارند اثر اشتباه را تصحیح نمایند و به علت اصلی آن توجه نمی‌کنند. این کوشش‌ها غالباً بدون نتیجه می‌باشند و به نظر می‌رسد با ادامه این وضع نوعی آشفتگی تکنیکی در حرکات ورزشکار پیدا می‌شود و مربی نه تنها قادر به ارائه کمک فنی نبوده بلکه در ایجاد آن نیز سهیم می‌باشد. در اینجا است که تنها دانش و اطلاعات

مربوط به بیومکانیک مربی را در مقامی قرار می‌دهد تا بتواند مطلوب‌ترین تکنیک‌ها را بررسی و انتخاب کرده و اگر اشتباهی در اجرای مهارت رخ دهد منشاء اصلی را پیدا نماید. پس می‌توان گفت بیومکانیک برای معلم تربیت بدنی یا مربی ورزش که بخواهد قضاوت صحیح و علمی در باره تکنیک‌های ورزشی بکند امری است ضروری و تنها در این صورت است که او صرفاً به حدس و تخمین در قضاوت خود تکیه نخواهد کرد. بنابراین می‌توان ادعا نمود که دانستن مفاهیم بیومکانیک از ضرورت‌های اولیه هر معلم یا مربی تربیت بدنی و ورزش است.

در این مطالعه سعی بر آن بوده که با استفاده مؤثر از روش بیومکانیکی به تجزیه و تحلیل یکی از مهارت‌های ژیمناستیک به نام "وارو"^(۱) پردازیم. از این رو یک مدل ریاضی ارائه گردید که از طریق روابط مکانیکی آن بتوانیم به متغیرهای مورد نظر خود دست یابیم.

از آنجایی که در این مهارت سه مرحله تیک آف، پرواز و چرخش و فرود حائز اهمیت است، بنابراین متغیرهایی از قبیل سرعت، شتاب، زوایا و نیروها در تیک آف و فرود و همچنین ارتفاع پرواز اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل گردید. در این اندازه‌گیری مشخصه‌های با ارزشی به دست آمده است که با نتایج سایر تحقیقات که توسط سیستم‌های پیشرفته همانند صفحه نیرو^(۲)، EMG^(۳) و تجزیه و تحلیل سه بعدی به دست آمده است، مطابقت می‌کند. مقایسه نتایج در جدول شماره (۱) منعکس است.

1- Backward Somersault

2- Force plate

3- Electromyography

جدول شماره (۱)

متغیرها	نتایج تحقیق حاضر	نتایج سایر تحقیقات
۱- کاهش سرعت مرکز جرم در T.O	۵۰ درصد کاهش	۵۰ درصد کاهش (بروگ من، ۱۹۸۳)
۲- سرعت مرکز جرم در T.O	$۳/۸۲ \pm ۰/۶۷ \text{ m/s}$	$۳/۱۵ \pm ۰/۳۳$ (فلیپاسوسا، ۱۹۹۶)
۳- همبستگی میان سرعت مرکز جرم و ارتفاع پرواز	۹۴ درصد	همبستگی بسیار بالا (بروگ من، ۱۹۸۳)
۴- کمترین ارتفاع مرکز ثقل و ایجاد حداکثر فلکشن زانو در T.O	$۰/۰۴$ تا $۰/۰۸$ ثانیه پس از T.O	$۰/۰۴$ تا $۰/۰۵$ ثانیه (نایت، ۱۹۷۸) پس از T.O
۵- مدت زمان تماس پا در T.O	$۰/۱۴ \pm ۰/۰۲$ ثانیه	$۰/۱۳ \pm ۰/۰۲$ ثانیه (نایت، ۱۹۷۸) $۰/۱۳۲$ (گرین وود-نیوتن، ۱۹۹۶) $۰/۱۲۵$ ثانیه (کروین، ۱۹۹۸)
۶- مدت زمان تماس پا در T.O	$۰/۱۴$ ثانیه	$۰/۰۹$ تا $۰/۱۱$ ثانیه (نول، ۱۹۹۳)
۷- سرعت افقی مرکز جرم در T.O	$۱/۸۴ \pm ۰/۶۷ \text{ m/s}$	$۱/۷ \pm ۰/۳$ (کروین، ۱۹۹۸)
۸- سرعت عمودی مرکز جرم در T.O	$۳/۶۴ \pm ۰/۶۷ \text{ m/s}$	$۴/۴ \pm ۰/۳$ (کروین، ۱۹۹۸)
۹- زاویه T.O	$۵۴/۲۳ \pm ۷/۸۵$	$۵۴/۳ \pm ۲/۶$ (کروین، ۱۹۹۸)
۱۰- نیروی عکس العمل زمین	$۲/۹$ تا $۵/۹۴$ برابر وزن بدن	$۶/۵$ تا $۹/۲$ برابر وزن بدن (نایسی نن، ۱۹۸۳) $۱۳/۶$ برابر وزن بدن (میلر - نایسی نن، ۱۹۸۳) $۱۰/۶$ برابر وزن بدن (گرین وود- نیوتن، ۱۹۹۶)
۱۱- میانگین نیروی عکس العمل افقی	$۶۷۶/۷$ نیوتن	۷۶۵ ± ۱۷۵ نیوتن (تاکایی و کیم، ۱۹۹۰)
۱۲- میانگین نیروی عکس العمل عمودی	$۹۷۷/۵$ نیوتن	۸۵۰ ± ۱۸۸ نیوتن (تاکایی و کیم، ۱۹۹۰)

روش تحقیق و جمع آوری اطلاعات

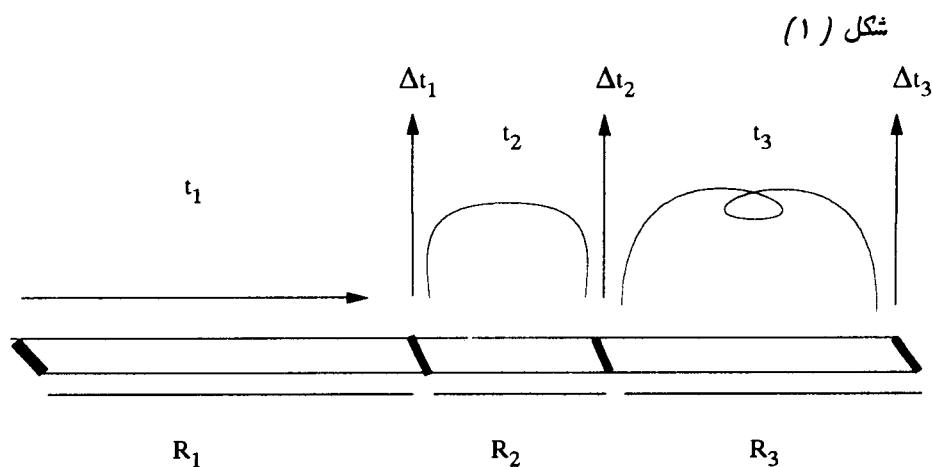
در این تحقیق ۱۵ ژیمناست پسر با میانگین سنی ۱۱ ± ۲ سال، میانگین وزن $۳۰/۱۶ \pm ۵/۷۳$ کیلوگرم، میانگین قد $۱۳۸/۲ \pm ۱۲/۶۹$ سانتی متر عضو هیأت ژیمناستیک استان گیلان شرکت داشتند.

برای انجام این تحقیق پس از یک سری اندازه‌گیری‌های مقدماتی بر روی مفاصل میچ پا، زانو و ران آزمودنی‌ها مارکرهای شب‌نما که در مقابل نور حساس بودند چسبانیده شد. استفاده از مارکرها به آن دلیل مورد نیاز بودند که در تصویر ویدئویی براحتی بتوان مفاصل و زوایای مورد نظر را تشخیص داد. سپس بر روی تشک ژیمناستیک مسافتی در نظر گرفته شد که آزمودنی‌ها بتوانند پس از طی مسیری به عنوان دورخیز حرکت پیچ و سپس وارو را اجرا نمایند. از آنجایی که انجام حرکت وارو همراه با دورخیز غیرممکن است، تصمیم بر آن شد که این مهارت با یک حرکت مقدماتی به نام چرخ و فلک پیچ همراه شود تا بتوان از مزایای دورخیز نیز سود جست. سپس از هر یک از آزمودنی‌ها با استفاده از یک دوربین ویدئویی ۲۵HZ (Panasonic M 3000) در حین اجرای مهارت فیلمبرداری به عمل آمد. برای به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز سه مرحله اندازه‌گیری شامل قبل، هنگام و بعد از فیلمبرداری انجام شد.

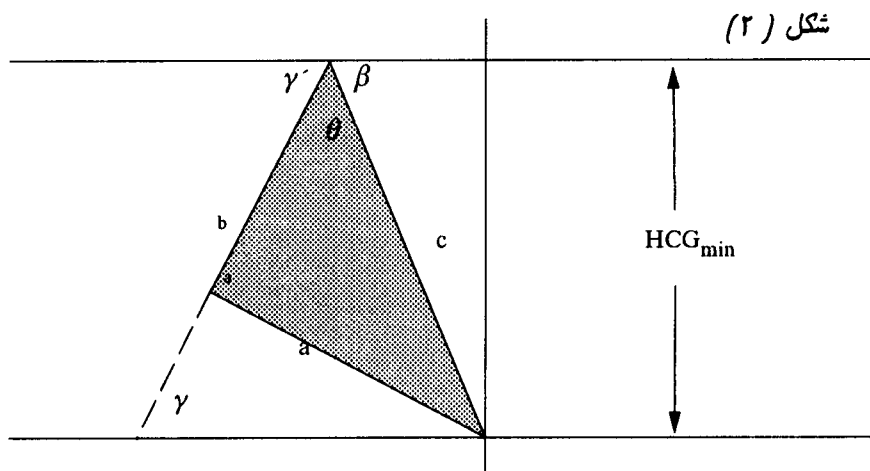
الف) مرحله قبل از فیلمبرداری: در این مرحله قد، وزن، طول ران و طول ساق پای آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد.

ب) مرحله هنگام فیلمبرداری: در این مرحله همزمان با هر اجرا، زمان (t_1) و مسافت (R_1) دورخیز و همچنین مسافت در پیچ (R_2) و وارو (R_3) اندازه‌گیری شد.

ج) مرحله بعد از فیلمبرداری: در این مرحله از فیلم به دست آمده مدت زمان تماس دست‌ها در پیچ (Δt_1)، مدت زمان تماس پاها با زمین تا لحظه‌ای که زاویه زانوها به حداقل برسد در پیچ (Δt_2) و وارو (Δt_3) و مدت زمان پرواز در پیچ (t_2) و وارو (t_3) از طریق پوشش فریم به فریم در تصویر ویدئویی و همچنین زاویه فرود در وارو (θ) با متوقف کردن فیلم در لحظه مورد نظر و استفاده از ورق ترنس پرنسی اندازه‌گیری شد. (شکل ۱)



برای اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع مرکز ثقل در پایان پیچ و وارو در لحظه‌ای که زاویه زانوها به حداقل رسیدند به زاویه ران نسبت به سطح افق و زاویه بین ران و ساق پا نیاز داشتیم که از طریق متوقف کردن فیلم و استفاده از ابزار لازم به دست آمد. (شکل ۲)



مدل ریاضی

پس از جمع‌آوری اطلاعات لازم با استفاده از اصول تجزیه و تحلیل بیومکانیکی و با ارائه یک مدل ریاضی پارامترهای مورد نظر محاسبه شدند. از آنجایی که سه مرحله کار (دورخیز، پیچ و وارو) متأثر از یکدیگر بود، از این رو باید پارامترها در هر مرحله محاسبه می‌شد. در مرحله دورخیز با استفاده

از مسافت و زمان به دست آمده در هنگام فیلمبرداری ابتدا شتاب و در نهایت سرعت با استفاده از رابطه ۱ در پایان دورخیز محاسبه گردید:

$$R = \frac{1}{\gamma} at_1^2 \quad \text{و} \quad V = a \cdot t \quad \text{رابطه (۱)}$$

سپس با استفاده از روابط ۲، ۳ و ۴ به ترتیب زاویه تماس دستها با زمین در پیچ، سرعت پیچ و نیروی عکس العمل زمین در هنگام تماس دستها با زمین به دست آمد:

$$\theta_1 = \text{tag}^{-1} \frac{gt_1^2}{2R_1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\Delta V_1 = V - V' \Rightarrow F_R = M \cdot \frac{\Delta V_1}{\Delta t_1}$$

$$V' = \frac{R_1}{\cos \theta_1 t_1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$F_R = F_R + W \quad \text{رابطه (۴)}$$

برای به دست آوردن نیروی عکس العمل زمین در فرود پیچ به سرعت وارو نیاز بود، به همین دلیل از روابط ۲، ۳ و ۴ مجدداً استفاده شد. این بار به ترتیب زاویه تیک آف در وارو، سرعت وارو و نیروی عکس العمل زمین در فرود پیچ محاسبه گردید.

برای به دست آوردن نیروی عضلات پا در هنگام تیک آف نیز به تغییرات ارتفاع مرکز ثقل در هنگام تیک آف نیاز داشتیم (شکل ۲) که از طریق قوانین هندسی محاسبه و به کمک روابط ۵ و ۶ ابتدا شتابی که عضلات پا به بدن می دهد تا زانوها از حالت حداکثر فلکشن به حالت ایستاده درآیند و سپس نیروی عضلات پا به دست آمد.

$$V_m^2 = 2a_m Y \Rightarrow a_m = \frac{V_m^2}{2Y} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$F_m = M \cdot a_m + W \quad \text{رابطه (۶)}$$

پس از این مرحله با استفاده از فاکتورهایی که در دست بود نیروی عکس العمل زمین، شتاب و نیروی عضلات پا در هنگام فرود وارو از طریق روابط ۴ و ۵ و ۶ حاصل شد.

آنچه که در حرکت وارو حائز اهمیت است ارتفاعی است که ورزشکار با استفاده از سرعت و نیروی تیک آف خود به دست می آورد. حداکثر ارتفاع مرکز ثقل آزمودنی ها با استفاده از سرعت و زاویه تیک آف با استفاده از رابطه V به دست آمد.

$$H = \frac{V^2 \cdot (\sin \theta')^2}{2g} \quad \text{رابطه (۷)}$$

روش تجزیه و تحلیل داده ها

در این تحقیق پس از گردآوری و محاسبه متغیرهای مورد نیاز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و تبدیل آن به t متغیرها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}}$$

$$t = r \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

ملاک تصمیم گیری با توجه به درجه آزادی $(n-2)$ و $\alpha = 5\%$ بوده است.

نتایج

از آنجایی که در این تحقیق اندازه گیری و تجزیه و تحلیل نیروها و زوایای مؤثر در حرکت وارو به روش غیر مستقیم مورد نظر بوده است، بنابراین پارامترهای مربوط به هر مرحله در جداول ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده و ارتباط متغیرها با یکدیگر نیز در جدول ۵ منعکس شده است.

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در وارو

$\theta_{r.o}$ (deg)	HCG _{Max} (m)	$\Delta t_{T.D}$ (s)	V_0 (m/s)	$F_{m_{T.O}}$ (N)	$F_{R_{T.D}}$ (N)	T'_t (s)	R_3 (m)	متغیرها شاخصها
۶۵/۵	۱/۱۶	-۰/۳۲	۵/۴۳	۳۱۷۱	۱۹۲۰	۰/۶۸	۱/۷	حداکثر
۳۷/۹۷	۰/۲۱	-۰/۰۸	۳/۲۸	۷۱۸	۵۶۷	۰/۴۲	۰/۸۲	حداقل
۵۴/۲۳	۰/۴۹	-۰/۱۴	۳/۸۲	۱۳۴۴	۱۱۸۹	۰/۵۶	۱/۲۵	میانگین
۷/۸۵	۰/۲۵	-۰/۰۶	۰/۶۷	۶۴۳	۳۳۸	۰/۰۶	۰/۲۴	SD

جدول (۲) بیانگر متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در مرحله دورخیز است. این متغیرها شامل مسافت (R)، زمان (t)، شتاب (a) و سرعت (V) می‌باشند که به ترتیبی دارای میانگین $۶/۷۶$ متر، $۲/۶۲$ ثانیه، $۱/۹۹$ متر بر مجذور ثانیه و $۵/۱۸$ متر بر ثانیه هستند.

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در دورخیز

متغیرها	R_1 (m)	t (s)	a (m/s^2)	V (m/s)
شاخص‌ها				
حداکثر	$۷/۳$	$۲/۹۶$	$۲/۴۹$	$۵/۹۴$
حداقل	$۶/۳۵$	$۲/۳۴$	$۱/۵۵$	$۴/۵۷$
میانگین	$۶/۷۶$	$۲/۶۲$	$۱/۹۹$	$۵/۱۸$
SD	$۰/۲۸$	$۰/۲$	$۰/۲۹$	$۰/۴$

جدول ۳ بیانگر متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در مرحله پیچ است. این متغیرها شامل برد پرواز (R_2)، زمان پرواز (t_f)، شتاب در فرود ($a_{T,D}$)، سرعت اولیه (V_0)، زمان P.O ($t_{P,O}$)، مدت زمان تماس پاها در فرود ($\Delta t_{T,D}$)، مدت زمان تماس پاها در فرود تا لحظه‌ای که زاویه زانو به حداقل می‌رسد ($\Delta t_{T,D}$)، زاویه پرواز ($\theta_{T,O}$)، نیروی عکس‌العمل زمین در تماس دستها با زمین (F_R)، نیروی عکس‌العمل زمین در فرود پاها ($F_{R,T,D}$)، نیروی عضلات در فرود پاها ($F_{m,T,D}$)، ارتفاع مرکز ثقل در حالت ایستاده (HCG)، حداقل ارتفاع مرکز ثقل در پایان پیچ (H'CG) و تفاضل ارتفاع مرکز ثقل در حالت ایستاده و حالت حداکثر فلکشن زانو در پیچ (Y) می‌باشند.

جدول ۳ میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در پیچ

متغیرها	R_2 (m)	t_f (s)	$a_{T,D}$ (m/s^2)	V_0 (m/s)	$t_{P,O}$ (s)	$\Delta t'_{T,D}$ (s)	$\Delta t_{T,D}$ (s)
شاخص‌ها							
حداکثر	$۱/۲۳$	$۰/۲$	۲۰۹	$۹/۵۱$	$۰/۲۴$	$۰/۰۸$	$۰/۲$
حداقل	$۰/۸۹$	$۰/۱۲$	$۶۲/۹$	$۵/۳۹$	$۰/۱۶$	$۰/۰۴$	$۰/۱۲$
میانگین	$۱/۰۶$	$۰/۱۴$	$۱۱۰/۹$	$۷/۱$	$۰/۱۸$	$۰/۰۶$	$۰/۱۴$
SD	$۰/۰۹$	$۰/۰۲$	۴۶	$۱/۴۴$	$۰/۰۲$	$۰/۰۱۸$	$۰/۰۲$

ادامه جدول ۳

Y (m)	H'CG (cm)	HCG (cm)	$F_{R_{P.O}}$ (mN)	$F_{R_{T.D}}$ (N)	$F_{m_{T.D}}$ (N)	$\theta_{T.O}$ (deg)	متغیرها شاخص‌ها
۰/۳۳	۶۴/۲۵	۹۰/۱۶	۹۹۴	۳۶۱۴	۷۲۳۶	۱۰/۶۸	حداکثر
۰/۱۸	۳۸/۱۶	۶۳/۸۳	۲۲۲	۷۰۲	۱۴۵۸	۳/۶۱	حداقل
۰/۲۳	۵۳/۷۲	۷۷/۴۲	۶۱۸	۲۰۵۵	۳۶۷۶	۶/۸۵	میانگین
۰/۰۴	۷/۳۸	۷/۰۱	۲۴۵/۷	۱۲۴۴	۱۵۶۹	۲/۷۴	SD

جدول (۴) نشان دهنده متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در مرحله وارو است. این متغیرها شامل برد پرواز (R_3)، زمان پرواز (t_f)، شتاب عضلات در تیک آف ($a_{T.O}$)، شتاب عضلات در فرود ($a_{T.D}$)، سرعت اولیه (V_0)، مدت زمان تماس پاها در فرود تا لحظه‌ای که زاویه زانو به حداقل می‌رسد ($\Delta t_{T.D}$)، نیروی عکس‌العمل زمین در فرود ($F_{R_{T.D}}$)، نیروی عضلات پا در تیک آف ($F_{m_{T.O}}$)، نیروی عضلات پا در فرود ($F_{m_{T.D}}$)، نیروی گشتاور زانو در فرود (M_{Knee})، نیروی گشتاور ران در فرود (M_{Hip})، حداقل ارتفاع مرکز ثقل در پایان وارو ($H''CG$)، تفاضل ارتفاع مرکز ثقل در حالت ایستاده و حالت حداکثر فلکشن زانو در پایان وارو (Y')، حداکثر ارتفاع مرکز ثقل در پرواز وارو (HCG_{Max})، زاویه $T.O$ ($\theta_{T.O}$)، زاویه فرود ($\theta_{T.D}$)، میزان انحراف امتداد مرکز ثقل بدن نسبت به سطح اتکا (α) می‌باشد.

جدول ۴ - میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای سینماتیکی استفاده شده در وارو

$\Delta t_{T.D}$ (s)	V_0 (m/s)	$a_{T.D}$ (m/s ²)	$a_{T.O}$ (m/s ²)	t_f (s)	R_3 (m)	متغیرها شاخص‌ها
۰/۳۲	۵/۴۳	۴۹/۹	۸۱/۹	۰/۶۸	۱/۷	حداکثر
۰/۰۸	۳/۲۸	۱۱/۶۹	۱۹/۲۱	۰/۴۲	۰/۸۲	حداقل
۰/۱۴	۳/۸۲	۲۳/۲۲	۳۴/۳۴	۰/۵۶	۱/۲۵	میانگین
۰/۰۶	۰/۶۷	۱۰/۵۹	۹۸/۳۸	۰/۰۶	۰/۲۴	SD

ادامه جدول (۴)

H ^o CG (cm)	M _{Hip} (N-M)	M _{Knee} (N-M)	F _{m.T.D} (N)	F _{m.T.O} (N)	F _R (N)	متغیرها شاخص‌ها
۵۶/۱۶	۱۰۰۰	۴۳۷	۲۳۰۶	۳۱۷۱	۱۹۲۰	حداکثر
۲۸/۵۹	۱۷۲	۲۵	۵۷۰	۷۱۸	۵۶۷	حداقل
۴۳/۳۳	۵۳۵	۲۵۸	۱۰۱۳	۱۳۴۴	۱۱۸۹	میانگین
۷/۹۷	۲۲۴	۱۱۱	۴۳۵	۶۴۳	۳۳۸	SD

ادامه جدول (۴)

α (deg)	$\theta_{T.D}$ (deg)	$\theta_{T.O}$ (deg)	HCG _{Max} (m)	Y' (m)	متغیرها شاخص‌ها
۲۶	۱۴۷	۶۵/۵	۱/۱۶	۰/۴۶	حداکثر
۰	۱۰۸	۳۷/۹۷	۰/۲۱	۰/۲۱	حداقل
۹/۲۶	۱۲۴/۷	۵۴/۲۳	۰/۴۹	۰/۳۴	میانگین
۶/۵۴	۱۲/۷	۷/۸۵	۰/۲۵	۰/۰۶	SD

جدول ۵ - ضریب همبستگی و مشاهده شده در ارتباط با هر یک از فرضیه‌ها

فرضیه‌ها	r	تو
۱- ارتباط بین زاویه T.O و ارتفاع پرواز	۰/۵۵	۲/۳۷۴*
۲- ارتباط بین سرعت T.O و ارتفاع پرواز	۰/۹۴	۹/۹۳۳*
۳- ارتباط بین نیروی عضلات پا در T.O و ارتفاع پرواز	۰/۶۹	۳/۴۳۷*
۴- ارتباط بین زاویه T.D و ارتفاع پرواز	۰/۱۰	۰/۳۶۲
۵- ارتباط بین نیروی عضلات پا در T.D و ارتفاع پرواز	۰/۴۷	۱/۹۱۹
۶- ارتباط بین نیروی عکس‌العمل در T.D و ارتفاع پرواز	۰/۱۷	۰/۶۲۱
۷- ارتباط بین مسافت و ارتفاع پرواز	۰/۶۶	۳/۱۶۷*
۸- ارتباط بین زاویه T.O و نیروی عضلات پا در T.O	۰/۴۸	۱/۹۷۲
۹- ارتباط بین زاویه T.D و نیروی عضلات پا در T.D	۰/۲۶	۰/۹۷۰
۱۰- ارتباط بین زاویه T.D و نیروی عکس‌العمل در T.D	-۰/۴۴	-۱/۷۶۶
۱۱- ارتباط بین تعادل در T.D و نیروی عکس‌العمل در T.D	-۰/۴۵	-۱/۸۱۶

* معنی دار بودن α در سطح ۰/۰۵ = α

بحث و نتیجه‌گیری یافته‌های تحقیق

۱ - با توجه به فرضیه اول همبستگی معنی‌داری بین زاویه تیک آف و ارتفاع پرواز به دست آمده است (۰/۵۵). ما می‌دانیم که در پرش‌ها و پرتاب‌ها زاویه پرواز، ارتفاع پرواز و برد افقی بسیار با اهمیت می‌باشد، از این رو در این تحقیق که هدف کسب ارتفاع لازم جهت انجام مهارت در هوا می‌باشد زاویه پرواز عامل مهمی به شمار می‌آید.

۲ - بنا بر فرضیه دوم، همبستگی معنی‌دار بالایی بین سرعت تیک آف و ارتفاع پرواز به دست آمده است (۰/۹۴). این ارتباط را می‌توان به این شکل توجیه نموده که سرعت حرکت در کسب مسافت بیشتر در مدت زمان مشخص مؤثر است، حال این مسافت افقی باشد یا عمودی تفاوتی نمی‌کند مهم آن است که با داشتن سرعت بیشتر ارتفاع بیشتری را می‌توان به دست آورد.

۳ - طبق فرضیه سوم، بین نیروی عضلات پا در تیک آف و ارتفاع پرواز همبستگی خوبی به دست آمده است (۰/۶۹) و ارتباط بین این دو متغیر معنی‌دار می‌باشد. از آنجایی که نیروی ایجاد شده در عضلات پاشی از شتاب حرکت در عضلات پا می‌باشد و شتاب ارتباط مستقیمی با سرعت حرکت

دارد، بنابراین افزایش نیروی عضلات پا در کسب ارتفاع بیشتر مؤثر است.

۴ - مطابق فرضیه چهارم، بین زاویه فرود و ارتفاع پرواز رابطه معنی داری وجود ندارد و این همبستگی بسیار ضعیف می باشد (۱۰٪). این ارتباط را بدین گونه می توان تفسیر نمود که ارتفاع پرواز هنگامی که برد افقی در نظر گرفته نشود نمی تواند با زاویه فرود ارتباط چندانی داشته باشد. در صورت ثابت بودن برد افقی با افزایش ارتفاع، زاویه فرود نیز افزایش خواهد یافت و برعکس.

۵ - بر طبق فرضیه پنجم، بین نیروی عضلات پا در فرود و ارتفاع پرواز همبستگی تقریباً متوسطی به دست آمده است (۴۷٪) که معنی دار نمی باشد. ولی باید توجه داشت که افزایش ارتفاع موجب می شود که سرعت حرکت در لحظه تماس پاها با زمین افزایش یابد و با افزایش این عامل طبیعتاً شتاب و همچنین نیروی عضلات پا افزایش پیدا می کند. با وجود عامل وزن در نیروی حاصل در عضلات پا این ارتباط تا اندازه ای تحت تأثیر وزن آزمودنی ها قرار می گیرد.

۶ - بنا بر فرضیه ششم، نیروی بین عکس العمل زمین در تیک آف و ارتفاع پرواز همبستگی ضعیفی حاصل شده است (۱۷٪). در شرایط طبیعی افزایش نیروی عکس العمل زمین در فرود ناشی از اعمال نیرو به صورت عمودی می باشد و ظاهراً با افزایش ارتفاع، نیروی عکس العمل زمین باید افزایش یابد، ولی با توجه به آنچه که در بخش چهارم عنوان شد برد پرواز بر این ارتباط تأثیر می گذارد.

۷ - با توجه به فرضیه هفتم، بین مسافت و ارتفاع پرواز همبستگی خوبی به دست آمده است (۶۶٪) که معنی دار می باشد. از آنجایی که مسافت و ارتفاع پرواز با سرعت پرواز ارتباط مستقیم دارند، می توان نتیجه گرفت که با افزایش سرعت هر دو عامل مسافت و ارتفاع پرواز افزایش می یابند.

۸ - بنا بر فرضیه هشتم، بین زاویه تیک آف و نیروی عضلات پا در تیک آف همبستگی متوسطی به دست آمده است (۴۸٪) که معنی دار نمی باشد. باید توجه داشت که بیشترین مقدار اعمال نیرو به زمین زمانی است که جهت این نیرو عمود بر سطح زمین باشد در نتیجه هر قدر زاویه تیک آف به خط عمود نزدیکتر باشد مقدار نیروی اعمال شده نیز بیشتر است. البته این ارتباط تا اندازه ای هم به وزن آزمودنی ها و میزان فلکشن زانو در هنگام تیک آف وابسته است.

۹ - مطابق فرضیه نهم، بین زاویه فرود و نیروی عضلات پا در فرود همبستگی ضعیفی به دست آمده است (۲۶٪) که معنی دار نمی باشد. ارتباط این دو عامل نیز تا اندازه زیادی تحت تأثیر تعادل افراد در هنگام فرود می باشد.

۱ - طبق فرضیه دهم، بین زاویه فرود و نیروی عکس العمل زمین در فرود همبستگی متوسط و

معکوسی به دست آمده است که معنی دار نمی باشد (۴۴٪-). باید توجه داشت که بیشترین میزان دریافت نیروی عکس العمل زمین در فرود زمانی است که فرد با زاویه عمود فرود آید. بنابراین هر قدر تفاوت این زاویه با زاویه ۹۰ درجه بیشتر باشد نیروی عکس العمل زمین کمتر است. می توان گفت که در این تحقیق ارتباط متوسط این دو متغیر تا اندازه زیادی به تعادل افراد در هنگام فرود وابسته است.

۱۱ - بنابر فرضیه یازدهم، بین تعادل در فرود و نیروی عکس العمل در فرود همبستگی متوسط و معکوسی به دست آمده است (۴۵٪-) که معنی دار نمی باشد. از آنجایی که میزان تعادل افراد در فرود با توجه به میزان درجات انحراف امتداد مرکز ثقل بدن نسبت به سطح اتکا سنجیده شده است، از این رو هر قدر درجات انحراف بیشتر باشد نیروی عکس العمل دریافت شده کمتر است و همبستگی متوسط حاصله همانند دو فرضیه قبل تحت تأثیر توانایی حفظ تعادل افراد در هنگام فرود می باشد.

منابع و مأخذ

1. Brueggemann, G. P. "Biomechanics of Gymnastic Techniques", Journal of Applied Biomechanics, Human Kinetics Publishers. INC . 1994.
2. Brueggemann, G.P. "Kinematics and Kinetics of thd Backward Somersault Take off From the Floor", Proceeding of the Enighth Internatiol Congress of Biomechanics, Nagoya, Japan, 1983.
3. Buda, P. "Double Backward Somersault", Journal of Sportska Praksa, 1980
4. Cross, T. S, "Biomechanical Analysis of the Backward Somersault", Microform Publications, 1982.
5. Fec, K, Olejar, M. "Tuck Backward Somersault By a More Progressive Technique", Journal of Teorie a praxe telesne, 1976.
6. George, G.S. "Biomechanics of Wonan's Gymnastics", prentice-Hall. Inc, 1980.
7. Greenwood, Mathew. Newton, John, "Direct Force Measurement of the Vault Take off in Gymnastics", Leeds Metropolitan University, Leeds England, Proceeding of ISBS, Funchul- Portugal.1996.
8. Hay, James. G. "The Biomechanical of sport Techniques", by prentice Hall, Inc,

Englewood Cliffs, Newjersey, 1985.

9. Hwang I, Seo, G. Liu, Z. C. "Take off Mechanics of thd Double Backward Somersault", International Journal of Sport Biomechanics, 1990.

10. Kerwin, David. G, Webb, Jounne, Yeadn, Mauric. R. "Production of Angular Momentun In Double Backward somersault", Loughborough University, U.K, Proceeding of ISBS, Konstanz-Germany, 1998.

11. Krol, Henryk. "The Influence of the Elevation of the Landing place the Exention of the Backward somersault". Academy of physical Education, Katowice poland, proceeding of ISBS, Konstanz-Germany, 1998.

12. Krug, Jurgen, Knoll, Klaus, University Leipzig-Kothe, Thomas, Zocher. Hans, Dieter. "Running Approach Velocity and Energy Transformation In Difficult vaults Gymnastics", Olympiastuts punkt Magdebung / Halle, Magdebung, Germany, proceeding of ISBS, Konstanz-Germany, 1998.

13. Lacuture, P, Junque, A, Duboy, J, Durand, B. "Dynamographic and cinematographic study of Backward somersault", Journal of biology of sport, 1989.

14. Li, Shanxiu. "Main Technical Analysis of the motion Trajectory Influence The Horse - Vaulting Movement, Shandong Institute of physical Education", Jinan, Shandong China. Proceeding of ISBS, Konstanz-Germany, 1998.

15. Ed. Lohman, Timothy. G, Roche, Alex. F, Martoren, Reynaldo. "Anthropometric standardization Reference manual" ,Human Kinetice 1988.

