

## پیش‌بینی عملکرد سرعتی زنان فعال با استفاده از سفتی عمودی و سفتی پا

عفت حسین زاده<sup>۱\*</sup>، منصور اسلامی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری، بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، ایران

۲. دانشیار، بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه مازندران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱/۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۹/۶

شماره صفحات: ۱۰۳ تا ۱۱۴

## چکیده

اگرچه توانایی دست‌یابی به بالاترین سرعت دویدن، عامل موفقیت در بسیاری از رشته‌های ورزشی به شمار می‌رود، با این‌وجود در شناخت ویژگی جسمانی که زیربنای دست‌یابی به این توانایی است، ابهاماتی وجود دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش سفتی پا و سفتی عمودی در پیش‌بینی توانایی سرعت دویدن است. داده‌های کینتیکی و کینماتیکی سه‌بعدی مهارت دویدن از ۵۰ زن سالم دانشجوی تربیت‌بدنی و علوم ورزشی جمع‌آوری و از آن برای اندازه‌گیری سفتی پا و سفتی عمودی استفاده شد. برای بررسی امکان پیش‌بینی سرعت دویدن با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره استفاده شد. یافته‌ها: نتایج رگرسیون چند متغیره نشان داد که بین دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی با میانگین سرعت دویدن رابطه قابل‌توجهی وجود دارد ( $R=0.671$ ) و این دو متغیر می‌توانند ۴۲ درصد از واریانس میانگین سرعت دویدن را پیش‌بینی نمایند. ( $\text{Adj. R square}=0.426$ ). نتایج پژوهش حاضر نشان داد به‌احتمال‌زیاد توانایی افراد در سرعت دویدن به میزان قابل‌توجهی به سفتی پا و سفتی عمودی وابسته است. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات مهمی در زمینه طراحی برنامه‌های تمرینی و استعدادیابی در اختیار مربیان و متخصصان این حوزه قرار دهد.

کلیدواژه‌ها: زنان فعال، سفتی، عملکرد سرعتی.

## Prediction of sprint active women performance using vertical and leg stiffness

Effat Hosseinzadeh<sup>1\*</sup>, Mansour Eslami<sup>2</sup>.

1. PHD Student, Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Mazandaran University, Iran
2. Associate Professor, Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Mazandaran University, Iran

## Abstract

**Introduction:** The ability to attain high level of speed is an essential component of success in many sports fields. However, physical qualities that underpin this ability remain unclear. The purpose of this study was to investigate the role of leg stiffness and vertical stiffness in predicting sprint running. **Methods:** 50 healthy females were selected among physical education students. The required kinetic and kinematic data were collected in three dimensions. The kinetic and kinematic variables running skill was used to measure both stiffness variables. A multivariate regression model was used to examine the possibility of predicting running speed using leg stiffness and vertical stiffness. **Findings:** The results of multiple regression showed that there is a significant relationship between the two-leg stiffness and vertical stiffness with mean running speed ( $R = 0.671$ ), and these two variables can predict 42% of Average speed variation ( $\text{Adj. R square}=0.426$ ). **Conclusion:** The results of the present study showed that the ability of individuals to sprint running is likely to be significantly dependent on leg stiffness and vertical stiffness. The results of this study can provide important information for designing training programs and talent detection for trainers and specialists in this field.

**keywords:** Active Women, Sprint Performance, Stiffness.

\*. hosseinzadeh.effat@gmail.com

## مقدمه

سرعت دویدن یکی از مؤلفه‌های اصلی در بسیاری از رشته‌های ورزشی است که از دیرباز مورد توجه محققان در حوزه‌های بیومکانیک و علوم حرکتی بوده است (۱،۲). محققان گزارش کردند که بین توانایی افراد در سرعت دویدن و موفقیت افراد در رشته‌های ورزشی رابطه مستقیمی وجود دارد. توانایی افراد در سرعت دویدن متفاوت بوده و عوامل مختلفی می‌تواند در آن نقش داشته باشد (۲،۳). شناخت عوامل تعیین‌کننده و مؤثر بر سرعت دویدن علاوه بر افزایش عملکرد ورزشکاران در اکثر رشته‌های ورزشی و بهبود رکورد دوندگان در حوزه استعدادیابی ورزشی نیز حائز اهمیت است (۳). طبق تحقیقات گذشته نیروی عکس‌العمل زمین یک فاکتور مهم در سرعت دویدن است که در طی دویدن به دو فاز ترمزی<sup>۱</sup> و پیشروی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت هر گام دویدن شامل دو مرحله انقباض درون‌گرا و برون‌گرای عضلات است (۴). در طی فاز برون‌گرا انرژی مکانیکی در اجزاء الاستیک سیستم عضلانی اسکلتی تولید و ذخیره شده و در فاز درون‌گرا آزاد می‌شود. جفت شدن انقباض درون‌گرا و برون‌گرا چرخه کشش و انقباض<sup>۳</sup> نامیده می‌شود که نقش بسیار مهمی در عملکرد سرعتی ورزشکاران دارد (۴). محققان گزارش کردند که توانایی اجرای موفق در دویدن به خصوص دوهای سرعت به کارایی چرخه کشش انقباض مرتبط است به گونه‌ای که افزایش کارایی چرخه کشش انقباض می‌تواند به افزایش سرعت دویدن کمک نماید (۴،۵).

یکی از فاکتورهای مؤثر در کارایی چرخه کشش انقباض سفتی اندام تحتانی است (۴،۶). سفتی<sup>۴</sup> توانایی مقاومت بدن به تغییر شکل در مقابل نیرو یا گشتاور اعمال شده به بدن است. مفهوم سفتی از قانون هوک گرفته شده و در مهارت‌هایی مثل دویدن، پریدن و هاپینگ<sup>۵</sup> (جهش و فرود متوالی) که از مدل جرم و فنر پیروی می‌کنند، بکار می‌رود (۶). سفتی در سطوح مختلفی از سیستم عضلانی اسکلتی بدن از قبیل مفاصل بدن، سفتی اندام و سفتی کل بدن قابل محاسبه است. سفتی کل بدن یا سفتی عمودی<sup>۶</sup> نسبت حداکثر مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین به جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن است. سفتی کل اندام پا یا سفتی پا<sup>۷</sup> مقاومت به تغییر طول پا بعد از اعمال نیروهای داخلی و خارجی است (۷). افزایش سفتی برای مقاومت بدن در مقابل روی هم افتادگی اندام تحتانی<sup>۸</sup> (خم شدن بیش از حد طبیعی در مفاصل پایین‌تنه) حین فاز برون‌گرا و به دنبال آن برای برگشت‌پذیری حداکثر انرژی ذخیره شده لازم است (۶،۸،۹). لذا این فرضیه مطرح می‌شود که توانایی افراد در سرعت دویدن به میزان قابل توجهی به میزان سفتی اندام تحتانی وابسته است.

طبق ادبیات تحقیق با افزایش سرعت دویدن سفتی عمودی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد درحالی‌که افزایش یا کاهش سفتی پا به میزان سرعت دویدن بستگی دارد به گونه‌ای که با افزایش سرعت دویدن از کم تا متوسط سفتی پا افزایش یافته ولی در صورت افزایش سرعت دویدن از متوسط تا حداکثر سفتی پا ثابت باقی می‌ماند (۱۰). چگونگی پاسخ بدن برای افزایش سرعت دویدن بین افراد مختلف متفاوت است درواقع هر فردی برای دستیابی به حداکثر سرعت دویدن ممکن است حین اجرای مهارت مقدار متفاوتی از سفتی را در

1. Braking  
2. Propulsion  
3. Stretch-Shortening Cycle (SSC)

4. Stiffness  
5. Hopping  
6. Vertical Stiffness

7. Leg Stiffness  
8. collapse lower extremity

بدن خود ایجاد کند. برای مثال دوندۀ‌های سرعتی مبتدی نسبت به دوندۀ‌های نخبه میزان سفتی بیشتری حین فاز برونگرا در دویدن سریع داشتند درحالی‌که حداکثر سرعت دویدن آن‌ها کمتر از افراد نخبه بود (۱۱،۱۲). لذا میزان سفتی در حین مهارت یک پاسخ فردی بوده و سازگاری فرد با شرایط نقش مهمی در تعیین میزان سفتی حین اجرای مهارت دارد (۱۰،۱۳).

به‌منظور بررسی فرضیه مطرح‌شده تحقیقاتی انجام شد که سفتی پا و عمودی را به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری کرده و رابطه آن را با سرعت دویدن سنجیدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند افرادی که سفتی عمودی بالایی داشتند سرعت حداکثر، میانگین سرعت و شتابگیری بالایی دارند (۱۱،۱۴،۱۵). مهم‌ترین نقص این دسته از تحقیقات این است که اغلب آن‌ها سفتی اندام تحتانی را طی مهارت هایپینگ و پرش عمودی محاسبه کرده و ارتباط آن را با سرعت دویدن سنجیده‌اند درحالی‌که سفتی اندام به نوع مهارت وابسته بوده به‌گونه‌ای که میزان سفتی پا در دویدن، هایپینگ و پریدن باهم فرق دارند درواقع سفتی بدن در مهارت هایپینگ با سفتی بدن در دویدن متفاوت است (۷،۱۶). از طرف دیگر بررسی رابطه بین سفتی و سرعت دویدن را در ورزشکاران حرفه‌ای مثل دوندگان سرعتی (۱۵)، تنیس‌بازان (۸) و هندبال‌بست‌ها (۱۱) و نت‌بال‌ها (۱۴) و عدم بررسی این رابطه در افراد غیرحرفه‌ای یکی دیگر از نقایص موجود در تحقیقات قبلی است زیرا محققان بر این باورند که سابقه فعالیت و نوع آن می‌تواند میزان سفتی را تحت تأثیر قرار داده و لذا در نتایج گزارش‌شده اثرگذار است (۱۷). علاوه بر این‌ها به دلیل استفاده از مهارت‌های پرش و هایپینگ برای محاسبه سفتی، آن‌ها سفتی عمودی و سفتی پا را یکسان فرض کردند درحالی‌که طبق تحقیقات اخیر این دو متغیر در همه مهارت‌ها حتی در هایپینگ نیز باهم متفاوت هستند (۱۸)؛ بنابراین برای درک علمی درست درزمینه رابطه سفتی و سرعت دویدن محاسبه دو متغیر سفتی پا و عمودی در مهارت دویدن و بررسی رابطه این دو متغیر به‌صورت جداگانه با سرعت دویدن ضرورت دارد. با توجه به مطالب ذکرشده هدف از پژوهش حاضر بررسی امکان پیش‌بینی سرعت دویدن با استفاده از پارامترهای سفتی اندام تحتانی به‌منظور شناخت نقش سفتی در عملکرد سرعتی ورزشکاران است. ازآنجایی که سفتی یک فاکتور مکانیکی تغییرپذیر بوده لذا نتایج پژوهش حاضر می‌تواند کمک بسزایی به مربیان برای شناخت مکانیزم دستیابی به حداکثر سرعت دویدن و فاکتورهای مؤثر در توانایی سرعت دویدن افراد نماید.

### روش‌شناسی

در پژوهش حاضر ۵۰ زن (سن:  $19/86 \pm 1/17$  سال، جرم:  $60/75 \pm 7/18$  کیلوگرم و قد:  $1/64 \pm 0/44$  متر) از بین دانشجویان ورودی تربیت‌بدنی و علوم ورزشی که شرایط شرکت در این آزمون را داشتند، به‌صورت غیر تصادفی و به شیوه در دسترس انتخاب شدند. حجم نمونه براساس مطالعات مشابه در این زمینه برآورد گردید (۱۴،۱۱). تحقیق در آزمایشگاه بیومکانیک دانشگاه مازندران انجام شد. همه آزمودنی‌ها اطلاعات شخصی و رضایت خود را برای شرکت در این آزمون در فرمی که قبل از اجرای آزمون به آن‌ها ارائه شد، ثبت کردند.

همچنین، پژوهش توسط هیئت بررسی دانشگاه مازندران بر اساس اصول اخلاقی انسانی مورد تأیید قرار گرفت (کد اخلاق IR.UZ.REC.1397.009).

معیارهای ورود به مطالعه شامل دانشجویان رشته تربیت بدنی و علوم ورزشی، محدوده سنی بین ۱۹ تا ۲۵ سال و شاخص توده بدنی بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع بود (۱۹). وجود هرگونه مشکلات وضعیتی و اسکلتی - عضلانی در افراد مانند پیچ‌خوردگی مزمن مچ پا (۲۰)، شکستگی در اندام تحتانی، دررفتگی در مفاصل پایین تنه (۲۱ و ۲۲)، بیماری‌هایی مانند شکستگی استرسی (۲۳)، استئوآرتریت (۲۴) طی شش ماه قبل به عنوان دسته اول معیارهای خروج در نظر گرفته شد. دسته دوم از معیارهای خروج از آزمون مربوط به سابقه فعالیت افراد بود، چراکه طبق پژوهش‌های پیشین سابقه فعالیت افراد بر میزان سفتی تأثیرگذار است (۱۷)؛ بنابراین، افرادی انتخاب شدند که سابقه فعالیت آن‌ها در یک سطح بود؛ به گونه‌ای که هیچ‌یک از آن‌ها در هر نوع تمرین یا برنامه تمرینی منظمی طی یک سال قبل از آزمون شرکت نداشتند (۱۸). قبل از شروع آزمون ابتدا اطلاعات مربوط به دموگرافی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. قد آزمودنی‌ها به وسیله قد سنج دیجیتالی سگا (مدل ووگل و هالک<sup>۱</sup>، ساخت کشور آلمان) و وزن آن‌ها با استفاده از تخته نیروسنج (کیستلر، وینترتور، سوئیس، ۶۰×۴۰ سانتیمتر، ۱۰۰۰ هرتز<sup>۲</sup>) اندازه‌گیری شد. جمع‌آوری داده‌های سینتیکی و سینماتیک مورد نیاز به صورت سه‌بعدی بوده که توسط نرم‌افزار اس‌ای‌ام‌ای موشن<sup>۳</sup> ثبت شد. بدین منظور از ۶ دوربین (جیویسی-۹ ایکس ۲۰۰؛ ۲۰۰ هرتز<sup>۴</sup>)، یک تخته نیروسنج، ۱۴ نشانگر منعکس‌کننده نور با قطر ۱ سانتی‌متر و ۲ نشانگر خوشه‌ای استفاده شد که هر کدام از نشانگرهای خوشه‌ای محتوی ۴ نشانگر منعکس‌کننده نور هستند.

روند اجرای پژوهش بدین صورت بود که شش دوربین در دو طرف تخته نیروسنج به گونه‌ای چیده شدند که دوربین‌ها اشراف کامل بر همه نشانگرهای متصل بر روی لندمارکهای پای چپ و راست داشته باشند. سفتی پا و سفتی عمودی طی مهارت دویدن با سرعت یکسان اندازه‌گیری شد (۲۵). سرعت دویدن با مترونوم کنترل شد بدین صورت که کل آزمودنی‌ها با ریتم ۱۶۰ ضربه در دقیقه دویدند (۲۶). برای همه آزمودنی‌ها سفتی پا و سفتی عمودی هر دو پای چپ و راست محاسبه و برای تجزیه و تحلیل آماری از میانگین سفتی پای چپ و راست استفاده شد. جهت ثبت داده‌های سینماتیک به صورت سه‌بعدی ابتدا همه نشانگرها روی لندمارکهای خار خاصره‌ای قدامی فوقانی راست و چپ، خار خاصره‌ای خلفی چپ و راست، تروکانتر بزرگ ران راست و چپ، اپی کندیل خارجی و داخلی ران، فوزک خارجی و داخلی، برجستگی پاشنه، انتهای استخوان پنجم کف‌پایی، انتهای استخوان اول کف‌پایی، سر دیستال انگشت دوم و دو نشانگر خوشه‌ای بر روی ران و ساق قرار گرفتند (۲۷). در ادامه، کوشش ایستا در حالی ثبت شد که فرد برای چند ثانیه در وضعیت آناتومیک قرار داشت. سپس نشانگرهای ایستا برداشته شد و درحالی که فقط نشانگرهای رهگیری روی خار خاصره‌ای قدامی فوقانی راست و چپ، خار خاصره‌ای خلفی چپ و راست، تروکانتر بزرگ ران راست و چپ، برجستگی پاشنه، انتهای استخوان پنجم کف‌پایی، انتهای استخوان اول کف‌پایی، سر دیستال انگشت دوم و دو نشانگر

1. Vogel &amp; Halke

2. Kistler, Winterthur, Switzerland, 60\*40 cm, 1000Hz

3. SIMI Motion

4. JVC-9X00; 200 Hz

خوشه‌ای بر روی ران و ساق متصل بودند کوشش‌های دویدن برای پای چپ و راست ثبت گردید. لازم به ذکر است که این روند اجرای آزمون برای پای چپ و راست به صورت جداگانه انجام شد. از هر آزمودنی در هر شرایط سه تلاش صحیح ثبت و از میانگین تلاش‌های مربوطه در تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. به آزمودنی‌ها در ابتدای اجرای هر آزمون و بین دو شرایط فرصت کافی برای گرم کردن، تنظیم سرعت و تنظیم گام داده شد. قبل از محاسبه متغیرها از داده‌های خام به دست آمده ابتدا داده‌های سینماتیکی و سینتیکی توسط فیلتر باترورث سطح چهار و با فرکانس برشی ۱۰ هرتز و ۵۰ هرتز به ترتیب هموار شدند.

لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر رابطه خطی بین نیرو در راستای کل اندام پا و جابه‌جایی کل اندام پا و همچنین رابطه خطی بین نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و جابه‌جایی مرکز ثقل بدن از ضریب تعیین بالایی برخوردار بوده ( $R^2 \geq 0.9$ ) که این مسئله فرضیه رفتار فتر مانند اندام تحتانی را تأیید کرده و نشان‌دهنده این است که مدل جرم و فتر مدل مناسبی برای اندازه‌گیری سفتی پا و عمودی است. برای محاسبه سفتی پا از روش کالمن استفاده شد که به عنوان روش مرجع معرفی شده و اعتبار بالایی دارد و توضیح کامل روش مورد استفاده در مقاله ذکر شده آمده است (۲۵).

$$k_{leg} = \frac{\max F_{leg}}{\Delta_{true}} \quad \text{معادله ۱:}$$

$$\theta_{LEG} = (90 - \theta_{true}) - \theta_R \quad \text{معادله ۲:}$$

$$F_{leg} = \cos(\theta_{LEG}) F_R \quad \text{معادله ۳:}$$

$$F_R = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad \text{معادله ۴:}$$

طبق این روش سفتی پا برابر با نسبت حداکثر نیروی اعمال شده در راستای پا ( $\max F_{leg}$ ) به تغییر طول پا ( $\Delta_{true}$ ) در قسمت میانی فاز تماس با زمین است. طول پا به فاصله بین برجستگی تروکانتر بزرگ و نقطه اعمال نیروی عکس‌العمل زمین ( $\text{cop}$ ) اطلاق می‌شود.

برای محاسبه نیرو در راستای پا ( $f_{leg}$ ) ابتدا زاویه بین طول پا با محور افقی ( $\theta_{true}$ ) و زاویه بین برآیند دو مؤلفه افقی و عمودی نیروی عکس‌العمل زمین ( $F_R$ ) با محور عمودی ( $R\theta$ ) محاسبه شد. سپس با استفاده از معادله ۲ زاویه نیرو در راستای پا نسبت به محور افق اندازه‌گیری شده ( $\theta_{leg}$ ) و در نهایت از معادله ۳ برای محاسبه نیرو در راستای پا استفاده شد. برای محاسبه سفتی عمودی در دویدن از معادله ۵ استفاده شده که سفتی عمودی از تقسیم مؤلفه عمودی حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین به حداکثر جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن به دست می‌آید. جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن با استفاده از دو بار انتگرال‌گیری شتاب عمودی به دست آمده از مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین محاسبه شد (۷). محاسبه متغیرها در محیط نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۶ انجام شد. لازم به ذکر است که برای حذف تفاوت‌های فردی مقادیر سفتی پا و سفتی عمودی به وزن افراد نرمالایز شدند.

$$k_{ver} = F_{vmax}/\Delta com$$

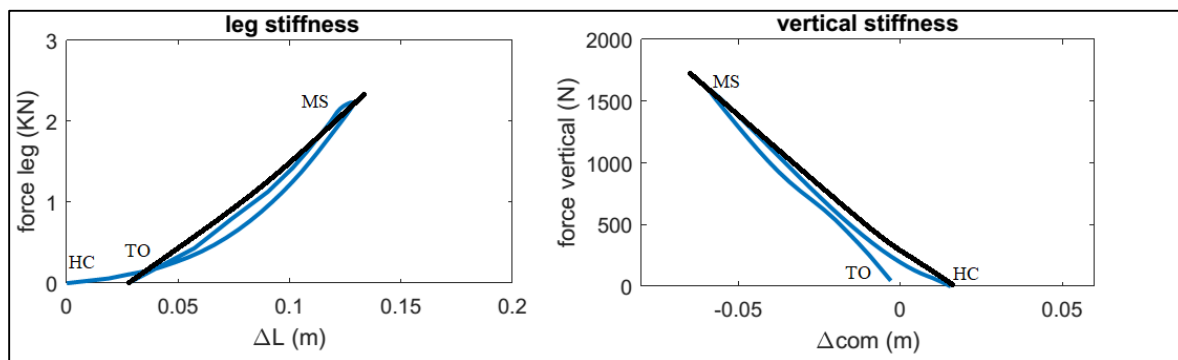
معادله ۵:

آزمون مربوط به عملکرد سرعتی: لازم به ذکر است که منظور از عملکرد سرعتی در مقاله حاضر توانایی سرعت دویدن افراد است. برای سنجش عملکرد سرعتی در دانشجویان از آزمون سرعتی ۲۰ متر استفاده شد که میانگین سرعت ۲۰ متر به عنوان عملکرد سرعتی فرد در نظر گرفته شد (۸). روند اجرای آزمون بدین صورت بود که از آزمودنی خواسته شد در وضعیت صحیح استارت ایستاده قرار گرفته و با علامت آزمونگر با حداکثر سرعت شروع به دویدن نماید. مدت زمانی که آزمودنی این مسافت ۲۰ متر را طی می‌کند توسط دو نفر با کرنومتر دستی ثبت شده و در صورتی تلاش آزمودنی مورد قبول قرار می‌گرفت که اختلاف زمان ثبت شده توسط این دو نفر کمتر از ۰/۰۵ ثانیه بود (۲۸). با استفاده از زمان ثبت شده میانگین سرعت دویدن افراد محاسبه شد. از هر آزمودنی سه تلاش موفق ثبت شده و میانگین آن‌ها برای تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک برای بررسی امکان پیش‌بینی سرعت دویدن با استفاده از سفتی پا و سفتی عمودی از مدل رگرسیون چندگانه استفاده شد. در صورت مثبت بودن امکان پیش‌بینی متغیر وابسته توسط هر متغیر مستقل، به منظور توضیح دقیق‌تر افراد را بر اساس هر متغیر مستقل به دو گروه تقسیم‌بندی می‌نماییم. تقسیم‌بندی افراد با استفاده از روش رتبه‌بندی بر اساس میانه<sup>۱</sup> انجام شده و افراد با توجه به سفتی عمودی به دو گروه سفتی عمودی بالا و سفتی عمودی پایین و همچنین بر اساس سفتی پا نیز به دو گروه سفتی پای بالا و سفتی پای پایین تقسیم‌بندی شدند. بعد از تقسیم‌بندی با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک نرمال بودن توزیع داده‌های هر گروه مورد ارزیابی قرار گرفت و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. با توجه به برقراری فرض‌های لازم، از آزمون‌های پارامتریک برای تحلیل استفاده شد. برای مقایسه بین گروه‌ها بر اساس هر متغیر سفتی به صورت جداگانه آزمون تی مستقل انجام شد. برای تعیین اندازه اثر تفاوت بین گروه‌ها از آزمون کوهن استفاده شد. برای همه آزمون‌های آماری سطح معناداری برابر با  $p \leq 0/05$  در نظر گرفته شد و برای اندازه اثر تفسیر مقادیر به این صورت بود که  $d$  کمتر از  $0/3 =$  اندازه اثر حداقل،  $d$  بین  $0/3$  تا  $0/5 =$  اندازه اثر کوچک،  $d$   $0/5$  تا  $0/7 =$  اندازه اثر متوسط و  $d$  بالاتر از  $0/7 =$  به عنوان اندازه اثر بزرگ در نظر گرفته شد (۱۴).

### یافته‌ها

نتایج آزمون شاپیرو - ویلک نشان‌دهنده توزیع طبیعی متغیرهای مورد بررسی بود. علاوه بر این همگنی واریانس‌ها در آزمون لون محرز گردید. نمونه‌ای از نمودار سفتی پا و سفتی عمودی در شکل ۱ آورده شده است. نتایج رگرسیون چند متغیره نشان داد که بین دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی با میانگین سرعت دویدن رابطه قابل توجهی وجود دارد ( $R=0/671$ ) و این دو متغیر می‌تواند ۴۲ درصد از واریانس میانگین سرعت دویدن را پیش‌بینی نمایند. ( $Adj.R\ square=0/426$ ). همان‌طور که در جدول شماره یک مشاهده می‌شود

دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی به صورت معنی داری میانگین سرعت دویدن افراد را پیش بینی می نمایند. با افزایش ۱ واحد سفتی عمودی میانگین سرعت دویدن به اندازه ۴۶ درصد افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر با افزایش ۱ واحد سفتی عمودی میانگین سرعت دویدن تقریباً ۳۶ درصد افزایش می یابد. لذا می توان گفت به احتمال زیاد دو متغیر سفتی عمودی و سفتی پا دو فاکتور مهم پیش بینی کننده سرعت دویدن هستند.



شکل ۱: نمونه ای از منحنی نیرو در راستای کل اندام به تغییر طول اندام در سفتی پا و منحنی نیروی عکس العمل زمین در راستای عمودی به جابه جایی مرکز ثقل بدن HC.(com): تماس پاشنه با زمین، MS: فاز میانی تماس با زمین، TO: جدا شدن پاشنه پا از زمین. شیب منحنی از فاز تماس پاشنه پا با زمین تا فاز میانی تماس که با خط سیاه مشخص شده است سفتی پا و سفتی عمودی را نشان می دهد.

جدول ۱: نتایج رگرسیون خطی چند متغیره

| متغیر پیش بین | B                                                      | SE    | Beta  | مقدار t | P ارزش |
|---------------|--------------------------------------------------------|-------|-------|---------|--------|
| مقدار ثابت    | ۳/۱۱۱                                                  | ۰/۲۴۲ |       | ۱۲/۸۵۲  | ۰/۰۰۰  |
| سفتی عمودی    | ۱/۸۳۶                                                  | ۰/۴۵۸ | ۰/۴۶۰ | ۴/۰۰۸   | *۰/۰۰۰ |
| سفتی پا       | ۱/۶۳۳                                                  | ۰/۵۲۵ | ۰/۳۵۷ | ۳/۱۱۳   | *۰/۰۰۳ |
| توجه:         | R square= ۰/۴۵۰      Adj.R square= ۰/۴۲۶      R= ۰/۶۷۱ |       |       |         |        |

\*معناداری در سطح  $p \leq 0.05$

برای توضیح واضح تر نتایج حاصل از رگرسیون و بررسی دلایل پیش بینی سرعت دویدن با استفاده از دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی آزمودنی ها به صورت جداگانه بر اساس این دو متغیر تقسیم بندی شدند. جدول شماره دو نتایج مقایسه سفتی و متغیرهای وابسته به آن را بین دو گروه سفتی عمودی بالا و سفتی عمودی پایین نشان می دهد. همان طور که در جدول شماره دو مشاهده می شود در میانگین سفتی عمودی بین دو گروه اختلاف معناداری مشاهده شد. همچنین بین میانگین سرعت دویدن در دو گروه تفاوت قابل توجهی وجود داشت؛ بنابراین میانگین سرعت دویدن به میزان قابل توجهی در گروه با سفتی عمودی بالا بیشتر از افراد با سفتی عمودی پایین بود. لازم به ذکر است بقیه متغیرهای ذکر شده در جدول شماره دو متغیرهای مرتبط با سفتی عمودی بوده که برای توضیح بهتر نتایج اصلی پژوهش مورد بررسی قرار گرفته اند و در قسمت بحث به آنها اشاره خواهد شد.

جدول ۲. مقایسه سفتی عمودی و متغیرهای وابسته به آن بین دو گروه سفتی عمودی بالا و سفتی عمودی پایین

| متغیرها                                          | گروه سفتی عمودی<br>پایین (۲۵) | گروه سفتی<br>عمودی بالا (۲۵) | مقدار t | P<br>ارزش | ES   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|-----------|------|
| سفتی عمودی ( $\text{KN.m}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ) | $0.4162 \pm 0.0477$           | $0.5808 \pm 0.077$           | ۸/۹۹۵   | *۰/۰۰۰    | ۲/۵۴ |
| میانگین سرعت دویدن (m/s)                         | $4/401 \pm 0/377$             | $4/775 \pm 0/369$            | ۳/۵۳۷   | *۰/۰۰۱    | ۱    |
| حداکثر مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین (BW)     | $1/990 \pm 0/17$              | $2/104 \pm 0/15$             | ۲/۳۶۶   | *۰/۰۲۱    | ۰/۷۱ |
| جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن (m)                 | $0/0495 \pm 0/008$            | $0/0377 \pm 0/006$           | -۵/۵۹۱  | *۰/۰۰۰    | ۱/۶۶ |
| جابه‌جایی زاویه‌ای زانو (deg)                    | $23/34 \pm 1/336$             | $22/46 \pm 1/961$            | -۱/۸۴۷  | ۰/۰۷۲     | ۰/۵۲ |
| زمان تماس با زمین (s)                            | $0/26 \pm 0/021$              | $0/24 \pm 0/026$             | -۲/۱۶۳  | *۰/۰۳۶    | ۰/۸۴ |

\*معناداری در سطح  $p \leq 0.05$ 

علاوه بر این در جدول شماره ۳ نتایج مقایسه سفتی پا و متغیرهای مربوط به آن بین دو گروه سفتی پای بالا و سفتی پای پایین گزارش شده است. در میانگین سفتی پا و سرعت دویدن افراد بین دو گروه سفتی پای بالا و پایین تفاوت معناداری وجود داشت. همان‌طور که قبلاً بیان شد علت بررسی متغیرهای دیگر ذکر شده در جدول شماره ۳ نیز به دلیل رابطه آن با سفتی پا و توضیح واضح‌تر نتایج پژوهش بوده که در قسمت بحث مقاله مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

جدول ۳. مقایسه سفتی پا و متغیرهای وابسته به آن بین دو گروه سفتی پای بالا و سفتی پای پایین

| متغیرها                                             | گروه سفتی پای<br>پایین (۲۵) | گروه سفتی پای<br>بالا (۲۵) | مقدار t | P<br>ارزش | ES   |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------|-----------|------|
| سفتی پا ( $\text{KN.m}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ )       | $0.1932 \pm 0.048$          | $0.2548 \pm 0.063$         | ۸/۸۹۲   | *۰/۰۰۰    | ۱/۲۷ |
| میانگین سرعت دویدن (m/s)                            | $4/43 \pm 0/36$             | $4/72 \pm 0/42$            | ۲/۶۱۳   | *۰/۰۱۲    | ۰/۷۴ |
| حداکثر مؤلفه عمودی و افقی نیروی عکس‌العمل زمین (BW) | $1/95 \pm 0/204$            | $2/068 \pm 0/13$           | ۲/۳۱    | *۰/۰۲۵    | ۰/۷  |
| جابه‌جایی زاویه‌ای زانو (deg)                       | $26/74 \pm 1/47$            | $25/57 \pm 1/76$           | -۲/۵۴۷  | *۰/۰۱۴    | ۰/۷۲ |
| زمان تماس با زمین (s)                               | $0/26 \pm 0/027$            | $0/24 \pm 0/021$           | -۲/۳۵۹  | *۰/۰۲۲    | ۰/۸۲ |
| تغییر طول پا (m)                                    | $0/11 \pm 0/021$            | $0/093 \pm 0/017$          | -۴/۰۷۸  | *۰/۰۰۰    | ۰/۸۸ |

\*معناداری در سطح  $p \leq 0.05$ 

## بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی در پیش‌بینی عملکرد سرعتی زنان فعال است. به‌طور کلی نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که هر دو متغیر سفتی موردنظر از عوامل مهم پیش‌بینی کننده میانگین سرعت دویدن هستند. بررسی‌های آماری نشان داد مقدار سفتی عمودی به میزان قابل توجهی از میزان سفتی پا در دویدن بیشتر بوده و بین دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی همبستگی ضعیفی وجود دارد ( $r=0/32$ ). این نتایج هم‌راستا با تحقیقات قبلی است به‌گونه‌ای که محققان گزارش کردند سفتی پا و سفتی عمودی در همه مهارت‌ها باهم متفاوت بوده و هیچ انطباقی بین آن‌ها وجود ندارد لذا این دو متغیر به‌صورت مجزای از هم در نظر گرفته می‌شوند (۷، ۱۸). سفتی عمودی مقاومت بدن به جابه‌جایی عمودی بعد

از اعمال نیروی عکس‌العمل زمین بوده درحالی‌که سفتی پا مقاومت به تغییر طول پا بعد از اعمال نیروهای داخلی و خارجی است (۷). لذا با توجه به متفاوت بودن این دو متغیر برای توضیح بهتر نتایج پژوهش افراد بر اساس میانگین سفتی پا و سفتی عمودی گروه‌بندی شدند (جدول ۲). طبق مدل رگرسیون سفتی عمودی اولین عامل پیش‌بینی‌کننده میانگین سرعت دویدن در افراد فعال است بدین ترتیب که سطح بالای سفتی عمودی منجر به افزایش میانگین سرعت دویدن افراد می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده شد میانگین سرعت دویدن افرادی که سفتی عمودی بالایی داشتند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از افرادی بود که سفتی عمودی پایینی داشتند که با نتایج تحقیقات قبلی هم‌خوانی دارد. طبق پژوهش‌های پیشین بین افرادی که میزان سفتی عمودی آن‌ها در هاپینگ و پرش بیشتر بود، حداکثر سرعت دویدن و میانگین سرعت دویدن آن‌ها در دوهای سرعتی با مسافت ۱۰،۲۰،۴۰ و ۱۰۰ متر بیشتر از افرادی بود که سفتی عمودی کمتری داشتند (۸،۱۱،۱۴،۱۵). باوجود تفاوت در مهارت مورد استفاده برای اندازه‌گیری سفتی عمودی در پژوهش حاضر نتایج حاصله از آن با پژوهش‌های گذشته یکسان بوده، بنابراین می‌توان گفت سفتی عمودی محاسبه‌شده در هر مهارتی با عملکرد سرعتی رابطه دارد. علت اینکه باوجود تفاوت در مهارت مورد استفاده برای اندازه‌گیری سفتی عمودی ولی نتایج یکسان گزارش شد ممکن است به این دلیل باشد که سفتی عمودی حرکت مرکز ثقل بدن در راستای عمودی را نشان داده و به دو متغیر جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن در فاز تماس و حداکثر مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین وابسته است. پس به دلیل اینکه سفتی عمودی و متغیرهای وابسته به آن فقط در یک راستای مشخصی اندازه‌گیری شده که در همه مهارت‌ها یکسان است لذا ماهیت متفاوت مهارت‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری سفتی عمودی نمی‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه بگذارد. از طرف دیگر طبق پژوهش‌های پیشین سفتی عمودی با سرعت روبه‌جلو در دوهای سرعتی رابطه مستقیم دارد (۹) در نتیجه می‌توان گفت افرادی که سفتی عمودی بالایی دارند سرعت روبه‌جلوی آن‌ها در دوهای سرعتی بیشتر لذا میزان بالای سفتی عمودی می‌تواند عامل مهمی در عملکرد سرعتی و حفظ سرعت دویدن افراد در طول مسیر باشد (۹).

نتایج رگرسیون نشان داد که سفتی پا نیز مانند سفتی عمودی عامل مهمی در پیش‌بینی عملکرد سرعتی افراد است ولی پیش‌بینی‌کننده ضعیف‌تری نسبت به سفتی عمودی است. افرادی که سفتی پای بیشتری دارند نیز میانگین سرعت دویدن آن‌ها نسبت به گروه افراد با سفتی پایین بیشتر بود. تحقیقات انجام‌شده در زمینه سفتی و عملکرد اغلب سفتی عمودی یا سفتی پا را حین مهارت هاپینگ و پرش اندازه‌گیری کرده و رابطه آن را با عملکرد ورزشی افراد سنجیده‌اند (۸،۱۱،۱۴،۱۵). این پژوهش‌ها به دلیل مهارت مورد استفاده برای اندازه‌گیری سفتی عملاً سفتی پا را با سفتی عمودی یکسان فرض کرده لذا برخی پژوهش‌ها نتایج خود را با عنوان سفتی پا گزارش کردند که درواقع همان سفتی عمودی است.

طبق اطلاعات نویسندگان تاکنون هیچ پژوهشی نقش سفتی پا که به روش کالمن و همکاران در دویدن محاسبه‌شده است را بر عملکرد سرعتی مورد بررسی قرار نداده است. گروه دیگر از پژوهش‌ها اثر سرعت

دویدن را بر سفتی پا سنجیده و گزارش کردند که با افزایش سرعت دویدن سفتی پا ثابت مانده یا کاهش می‌یابد لذا بیان کردند که بین سفتی پا و سرعت دویدن رابطه‌ای وجود ندارد (۷،۹،۱۰) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد. یکی از دلایل تناقض موجود بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج این پژوهش‌ها روش پژوهش متفاوت است. این دسته از پژوهش‌ها اثر تغییر سرعت دویدن را بر سفتی پا بررسی کرده لذا تغییرات سفتی پا را در حین دویدن با سرعت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نحوه پاسخ بدن به افزایش سرعت دویدن می‌تواند در افزایش یا کاهش سفتی پا حین دویدن سریع نقش داشته باشد لذا بر اساس این نتایج مشخص نمی‌شود که آیا افرادی سفتی بالایی دارند عملکرد سرعتی بهتری دارند؟ یا میزان سفتی بالاتر می‌تواند یک فاکتور مهم در افزایش عملکرد سرعتی افراد باشد یا خیر؟ که تحقیق حاضر درصدد پاسخ‌گویی به این سؤالات است. از طرف دیگر تفاوت در روش محاسبه سفتی پا یکی دیگر از دلایل تناقض در نتایج باشد. یکی از فاکتورهای مهم در افزایش سرعت دویدن افزایش سرعت گام برداری است که افزایش سفتی پا با افزایش سرعت گام‌برداری رابطه دارد (۲۹،۳۰). طبق پژوهش‌های پیشین یکی از عوامل اثرگذار بر سفتی پا زمان تماس است به‌گونه‌ای که ۱۰ درصد کاهش در زمان تماس سفتی پا حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد (۳۱).

زمان تماس با زمین یک فاکتور مهم در تعیین حداکثر سرعت و دویدن بوده زیرا افزایش سرعت گام‌برداری در دویدن مستلزم کاهش زمان تماس پا با زمین است (۲۹). علاوه بر این تغییر طول پا طبق معادله ۱ رابطه عکس با سفتی پا دارد که در این پژوهش افرادی که سفتی پای بالاتری داشتند تغییر طول پای آن‌ها به میزان قابل توجهی بیشتر از افراد با سفتی پای پایین‌تر بود. میزان خم‌شدگی مفاصل اندام تحتانی به‌خصوص مفصل زانو در فاز میانی تماس با زمین تأثیر مستقیمی بر تغییر طول پا دارد هر چه تغییرات زاویه مفصل زانو تا فاز میانی تماس با زمین کمتر باشد تغییر طول پا نیز کمتر خواهد بود (۳۲). لذا می‌توان نتیجه گرفت که افرادی که سطح بالای سفتی پا دارند میزان خم شدن مفاصل اندام تحتانی در فاز میانی تماس با زمین کمتر لذا زمان تماس با زمین در این افراد کاهش یافته در نتیجه سرعت گام‌برداری این افراد بیشتر از گروه با سفتی پا کمتر خواهد بود.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود گروه سفتی عمودی بالا نسبت به گروه سفتی عمودی پایین، جابجایی عمودی مرکز ثقل کمتری دارند. الگوی جابه‌جایی عمودی مرکز بدن ثقل بدن در فاز میانی تماس با زمین مشابه الگوی تغییر طول پا است به‌گونه‌ای که هر دو در این فاز به کمترین مقدار خود می‌رسند (۱۸). لذا خم شدن مفاصل اندام تحتانی هم می‌تواند در کاهش جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل افراد با سفتی عمودی بالاتر مؤثر باشد. باوجود الگوی مشابه بین تغییر طول پا و جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن این دو از هم متفاوت هستند (۱۰،۱۸). علاوه بر تعریف متفاوت این دو باهم محققان گزارش کردند که تغییرات جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن نسبت به تغییر طول پا کمتر است (۱۰،۱۸). همان‌طور که ذکر شد سفتی عمودی نسبت حداکثر مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین به جابه‌جایی عمودی مرکز ثقل بدن بوده و سفتی پا رابطه مستقیم با حداکثر نیرو در راستای پا و رابطه معکوس با تغییرات طول پا دارد که در روش کالمن برابند دو مؤلفه افقی و عمودی

نیروی عکس‌العمل زمین از متغیرهای اصلی در محاسبه نیرو در راستای پا هستند (۱۹). نتایج مقایسه بین دو گروه سفتی عمودی پایین و بالا نشان داد که تفاوت قابل توجهی در حداکثر مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین بین دو گروه وجود دارد (جدول ۲). همچنین افرادی که سفتی پای بالاتری دارند نیز نیرو در راستای پای بیشتری دارند و از طرف دیگر زمان تماس با زمین در افرادی که سفتی پای بالایی داشتند به میزان قابل توجهی کمتر از افراد با سفتی پایین است لذا افراد هر دو گروه سفتی عمودی بالا و سفتی پای بالا قادر هستند که در زمان کوتاه‌تر نیروی بیشتری را به زمین اعمال نمایند پس عملکرد سرعتی بهتری خواهند داشت زیرا محققان گزارش کردند که دوندهای سرعتی قادر هستند بیشترین نیرو را در کمترین زمان ممکن به زمین اعمال نمایند (۳۳).

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد دو متغیر سفتی پا و سفتی عمودی از فاکتورهای مهم در پیش‌بینی سرعت دویدن محسوب می‌شوند لذا می‌توان گفت توانایی سرعت دویدن به این دو متغیر وابسته بوده به گونه‌ای که افرادی که سفتی پا و سفتی عمودی بالایی دارند میانگین سرعت دویدن بالاتری خواهند داشت. از طرف دیگر طبق ادبیات تحقیق به نظر می‌رسد سفتی یک متغیر مکانیکی قابل تغییر است؛ بنابراین شناخت این دسته از عوامل به مربیان برای طراحی برنامه‌های تمرینی و متغیرهای مدنظر به منظور بهبود عملکرد سرعتی ورزشکاران کمک می‌نماید. علاوه بر این از سفتی می‌توان برای شناسایی افراد با توانایی سرعت دویدن بالا استفاده کرد که خود در حوزه استعدادیابی ورزشی نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

### منابع

1. Cunningham, D.J., West, D.J., Owen, N.J., Shearer, D.A., Finn, C.V., Bracken, R.M., Crewther, B.T., Scott, P., Cook, C.J., Kilduff, L.P. (2013). Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *Sports Medicine and Physical Fitness*. 53: 105-111.
2. Miller, R.H., Umberger, B.R., Caldwell, G.E. (2012). Limitations to maximum sprinting speed imposed by muscle mechanical properties. *Journal of Biomechanics*. 45(6):1092-1097.
3. Clark, K.P., Weyand, P.G. (2014). Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *Journal of Applied Physiology*. 117(6):604-15.
4. Rumpf, MC., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Hughes, M.G. (2013). Vertical and leg stiffness and stretch-shortening cycle changes across maturation during maximal sprint running. *Human Movement Science*. 32(4):668-76.
5. Hennessy, L., Kilty, J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Strength and Conditioning Research*. 15(3):326-31.
6. Butler, R.J., Crowell, H.P., Davis, I.M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*. 18(6):511-7.
7. Serpell, B.G., Ball, N.B., Scarvell, J.M., Smith, P.N. (2012). A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *Sports Sciences*. 30(13):1347-63.
8. Durand, S., Ripamonti, M., Beaune, B., Rahmani, A. (2010). Leg ability factors in tennis players. *International Journal of Sports Medicine*. 31(12):882-6.
9. Hobara, H., Inoue, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Muraoka, T., Iso, S., & Kanosue, K. (2010). Continuous change in spring-mass characteristics during a 400 m sprint. *Science and Medicine in Sport*. 13(2), 256-261.
10. Brughelli, M., Cronin, J. (2008). Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness. *Journal of Sports Medicine*. 38(8):647-57.
11. Chelly, S.M., Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine & Science in Sports*. 33(2):326-33.
12. Mero, A., Komi, P.V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 55(5):553-61.
13. Derrick, T.R., Caldwell, G.E., Hamill, J. (2000). Modeling the stiffness characteristics of the human body while running with various stride lengths. *Journal of Applied Biomechanics*. 16(1):36-51.

14. Pruyn, E.C., Watsford, M., Murphy, A. (2014). The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 39(10):1144-50.
15. Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A., Messonnier, L., Lacour, J. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *Sports Medicine and Physical Fitness*. 42(3):274.
16. Morin, J.B., Jeannin, T., Chevallier, B., Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *International Journal of Sports Medicine*. 27(02):158-65.
17. Hobara, H., Kimura, K., Omuro, K., Gomi, K., Muraoka, T., Sakamoto, M., & Kanosue, K. (2010). Differences in lower extremity stiffness between endurance-trained athletes and untrained subjects. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 13(1), 106-111.
18. Beerse, M., Wu, J. (2017). Comparison of whole-body vertical stiffness and leg stiffness during single-leg hopping in place in children and adults. *Journal of Biomechanics*. 56: 71-5.
19. Millett, E. L. (2016). Influence of athletic training on functional lower-extremity stiffness. Doctoral thesis, Australian Catholic University.
20. Lin, C. F., Chen, C.Y., & Lin, C. W. (2011). Dynamic ankle stiffness in athletes with ankle instability during sports maneuvers. *The American Journal of Sports Medicine*. 39(9), 2007-2015.
21. Lorimer, A. V. (2014). Evaluating stiffness of the lower limb 'springs' as a multifactorial measure of Achilles tendon injury risk in triathletes. Doctoral thesis, Auckland University of Technology.
22. Thomson, A. (2014). The relationship between musculoskeletal stiffness and lower limb injury in athletes: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*. 48(7), 665-665.
23. Milner, C. E., Ferber, R., Pollard, C. D., Hamill, J., & Davis, I. S. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38(2), 323
24. Zeni, J. A., & Higginson, J. S. (2009). Dynamic knee joint stiffness in subjects with a progressive increase in severity of knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*. 24(4), 366-371.
25. Coleman, D.R., Cannavan, D., Horne, S., Blazeovich, A.J. (2012). Leg stiffness in human running: Comparison of estimates derived from previously published models to direct kinematic-kinetic measures. *Journal of Biomechanics*. 45(11):1987-91.
26. Heller, B. W., & Haake, S. J. (2006). Pacing lights—a new approach to controlling speed in the gait laboratory. *In The Engineering of Sport*. 6, 63-67.
27. Hamill, J., Moses, M., Seay, J. (2009). Lower extremity joint stiffness in runners with low back pain. *Research in Sports Medicine*. 17(4), 260-273
28. Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Oliver, J. L., & Hughes, M. (2011). Assessing youth sprint ability—Methodological issues, reliability and performance data. *Pediatric exercise Science*. 23(4), 442-467.
29. Pruyn, E.C., Watsford, M., Murphy, A. (2014). The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 39(10):1144-50.
30. Farley, C.T, Gonzalez, O. (1996). Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics*. 29(2):181-6.
31. Morin, J.B., Samozino, P., Zameziati, K., Belli, A. (2007). Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *Journal of Biomechanics*. 40(15):3341-8.
32. Hobara, H. (2008). Spring-like leg behavior and stiffness regulation in human movements. Doctoral Dissertation, Waseda University, Japan.
33. Arce, S.O. (2016). A comparison of postural performance and kinematics between collegiate sprinters and non-sprinters: California State University, Sacramento.

نحوه درج مقاله: عفت حسین زاده، منصور اسلامی (۱۳۹۹). پیش‌بینی عملکرد سرعتی زنان فعال با استفاده از سفتی عمودی و سفتی پا. پژوهش در طب ورزشی و فناوری. ۱۸(۲۰): ۱۱۴-۱۰۳. دی او آی ۱۰.۲۹۲۵۲/jsmt.۱۸.۲۰.۱۰۳

**How to cite this article:** Effat Hosseinzadeh., Mansour Eslami. (2020). Prediction of sprint active women performance using vertical and leg stiffness. 18(20):103-114. (In Persian). DOI: 10.29252/jsmt.18.20.103.