

## مقایسه‌ی عملکرد تیک آف پرش طول ورزشکاران شرکت‌کننده در مسابقات قهرمانی آسیا با نخبگان جهان

مجتبی عشرستاقی<sup>۱</sup>، الهام شیرزاد<sup>۲</sup>، احمد رضا عرشی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری بیومکانیک دانشگاه خوارزمی تهران

۲- استادیار دانشگاه تهران\*

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۳۰

### چکیده

مرحله‌ی تیک آف مهم‌ترین بخش یک اجرای پرش طول است و هدف اصلی آن تبدیل مناسب سرعت افقی به سرعت عمودی است. هدف از انجام این تحقیق، مقایسه‌ی ورزشکاران پرش طول سطح بالای آسیایی با نخبگان جهانی این رشته در اجرای تیک آف بود. نمونه‌های این تحقیق، هشت ورزشکار مرد رشته‌ی پرش طول با میانگین رکورد  $7/68 \pm 0/28$  متر بودند که در چهارمین دوره‌ی مسابقات دوومیدانی داخل سالن بزرگسالان قهرمانی آسیا در تهران شرکت داشتند. از ۳۷ اجرای ورزشکارها حین برگزاری مسابقه با فرکانس ۳۰۰ هرتز فیلم‌برداری شد و متغیرهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار آنالیز حرکت به دست آمد. متغیرهای تحقیق، با استفاده از آزمون تی، یک نمونه‌ی مستقل با مقادیر مرجع مربوط به نخبگان جهان، مقایسه و تفاوت‌های معنادار در سطح  $0/05$  گزارش شد. نتایج به دست آمده، وجود تفاوت را، هم در الگوی سرعت و هم در نحوه‌ی اجرای مرحله‌ی تیک آف نشان داد. سرعت عمودی ( $p < 0/001$ )، سرعت افقی ( $p < 0/001$ )، کمترین زاویه‌ی زانو در مرحله‌ی تیک آف ( $p = 0/046$ ) و طول گام آخر ( $p < 0/001$ )، کمتر از مقادیر مرجع بود. زمان تماس ( $p = 0/003$ )، زاویه‌ی انحراف ( $p < 0/001$ ) و زاویه‌ی زانو در لحظه‌ی تماس ( $p = 0/001$ )، بیشتر از مقادیر مرجع به دست آمد و افت شدید سرعت در فاز اول تیک آف مشاهده شد. به نظر می‌رسد که شرکت‌کننده‌های این مسابقه، علی‌رغم آگاهی از نکات تکنیکی، در اجرای صحیح آن ضعف داشتند. نظارت مداوم بر تمرین‌ها با استفاده از ابزارهای تحلیل حرکت برای تصحیح اشتباهات تکنیکی در کنار برنامه‌ریزی برای افزایش قدرت اکسنتریک اکستنسورهای زانو و افزایش سرعت بیشینه، ارتقای رکورد را در پی خواهد داشت.

**واژگان کلیدی:** تیک آف پرش طول، تکنیک، سرعت، قدرت.

### مقدمه

پرش طول از چهار بخش اصلی دورخیز، تیک‌آف، پرواز در هوا و فرود تشکیل شده‌است (۱). بر اساس نظر محققین، مرحله‌ی تیک‌آف مهم‌ترین بخش در اجرای پرش طول است (۵-۲). بنابراین برای داشتن یک اجرای موفق، توجه به عوامل مؤثر در تیک‌آف ضروری است. ورزشکار پرش طول در دو گام آخر مرحله‌ی دورخیز، آماده‌ی تیک‌آف می‌شود و در مرحله‌ی تیک‌آف، طی دو فاز فشردگی و بلندشدن وارد مرحله‌ی پرواز می‌شود (۶،۷). این دو فاز، به ترتیب از لحظه‌ی تماس<sup>۱</sup> تا لحظه‌ی بیشترین فلکشن زانو<sup>۲</sup> (mkf) و از لحظه‌ی mkf تا لحظه‌ی جدایش<sup>۳</sup> تعریف می‌شوند. بر اساس نظریه‌های موجود، حدود ۷۰ درصد از سرعت عمودی لحظه‌ی جدایش، در فاز اول و مابقی در فاز دوم تیک‌آف به‌دست می‌آید (۸). فاز اول تا حدود زیادی متأثر از سرعت افقی، قدرت اکسنتریک اکستنسورهای زانو و تکنیک کاشتن پای تکیه‌گاه است و موفقیت در فاز دوم غالباً به قدرت کانسنتریک و کارایی عضلات در بهره‌گیری از چرخه‌ی کشش-انقباض نسبت داده‌می‌شود (۱۰-۸،۴).

در سطوح پایین‌تر که تکنیک‌های پرش طول به درستی اجرا نمی‌شود، سرعت دورخیز اصلی‌ترین نقش را در موفقیت تیک‌آف و طول پرش ایفا می‌کند که این ارتباط در بسیاری از تحقیقات دیده‌شده‌است (۱۳-۱۱)؛ اما در مورد ورزشکاران سطح بالا، یک تیک‌آف موفق، حضور هم‌زمان عوامل سرعتی، قدرتی و تکنیکی را می‌طلبد (۸). با فرض رسیدن به بیشترین سرعت در انتهای مرحله‌ی دورخیز، مسأله‌ی اصلی پرش طول، مکانیزم تبدیل سرعت افقی به سرعت عمودی است. بنابراین معیار موفقیت تیک‌آف، کسب بیشترین سرعت عمودی ممکن با صرف کمترین هزینه از سرعت افقی است. هرچند کاهش سرعت افقی در مرحله‌ی تیک‌آف امری اجتناب‌ناپذیر است، اما میزان آن تا حدود زیادی وابسته به تکنیک و قدرت عضلات ورزشکار است که می‌تواند نیروی ترمزی شدید لحظه‌ی تماس را به نحو مطلوبی تعدیل کند (۱۴،۱۰). براساس مطالب ذکرشده، تفاوت‌های بین ورزشکارهای نخبه را می‌توان ناشی از نحوه‌ی به‌کارگیری سه عامل سرعت، قدرت و تکنیک دانست. گام اول در برنامه‌ریزی مناسب برای ارتقای رکورد، شناخت نقاط ضعف اجرای ورزشکار است. یک راه مناسب برای تحقق این امر، الگوگیری از عملکرد بهترین ورزشکاران پرش طول جهان و درنظرگرفتن نظریات ارائه‌شده توسط محققین در این عرصه است. در این راستا، هدف از اجرای این پژوهش، تحلیل مقایسه‌ای

- 
1. Touch down
  2. Maximum knee flexion(mkf)
  3. Toe off

عملکرد تیک‌آف ورزشکاران شرکت‌کننده در مسابقه‌ی پرش طول قهرمانی داخل سالن آسیا با عملکرد نخبگان جهانی این رشته، یافتن نقاط ضعف احتمالی و ارائه‌ی راهکار برای بهبود اجرایشان بود.

### روش پژوهش

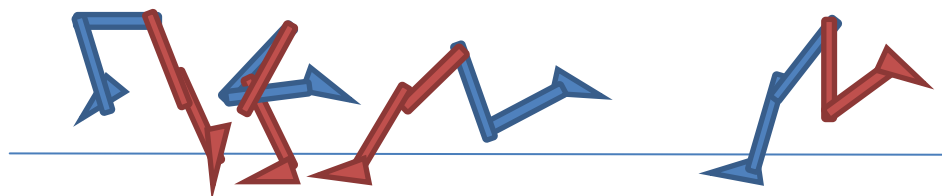
روش اجرای این تحقیق از نوع نیمه‌تجربی بود و شرکت‌کنندگان مسابقه‌ی پرش طول داخل سالن مردان آسیا در رده‌ی بزرگسالان، به تعداد هشت نفر، نمونه‌ی آماری آن را تشکیل دادند. از این تعداد دو نفر ایرانی و مابقی از کشورهای چین، ژاپن، هند، قزاقستان، قرقیزستان و فیلیپین بودند. هر یک از نمونه‌ها، با توجه به شرایط مسابقه، بین یک تا شش پرش انجام داد که از آن بین، ۳۷ پرش به‌طور مناسب فیلم‌برداری شد و مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به گروه نمونه‌ی این تحقیق، جامعه‌ی آماری را می‌توان ورزشکاران پرش طول نخبه‌ی آسیایی تعریف کرد؛ هرچند با توجه به این که به نظر نمی‌رسد ملیت یا آسیایی بودن در این نوع تحلیل بیومکانیکی چندان اثرگذار باشد، شاید تعریف جامعه از روی دامنه‌ی رکوردها (ورزشکاران پرش طول با رکورد حدود ۷ تا ۸ متر) مناسب‌تر باشد.

اجراهای شرکت‌کننده‌ها به‌وسیله‌ی یک دوربین فیلم‌برداری سرعت بالا<sup>۱</sup> با فرکانس ۳۰۰ هرتز ثبت شد. دوربین در راستای تخته‌ی تیک‌آف با فاصله‌ی افقی سه متر از وسط باند دورخیز و فاصله‌ی عمودی ۰/۵ متر از سطح زمین روی سه‌پایه قرار داشت. به این صورت، تمام وقایع گام آخر و مرحله‌ی تیک‌آف شرکت‌کننده‌ها در دید دوربین قرار گرفت و ثبت شد. فیلم‌های ثبت‌شده از مسابقه به کامپیوتر منتقل و وارد نرم‌افزار تحلیل حرکت<sup>۲</sup> شدند. پس از کالیبراسیون، نقاط مورد نظر برای تحلیل، مارکرگذاری شدند. مارکرهای قرارگرفته روی پنجه‌ی پا، پاشنه‌ی پا، مفصل مچ پا، مفصل زانو و مفصل ران در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. سه سگمنت برای نرم‌افزار تعریف شد که به ترتیب مارکرهای انگشت و مچ پا، مارکرهای مچ پا و زانو و مارکرهای زانو و ران را به هم وصل می‌کردند. زاویه‌ی کوچک‌تر بین سگمنت‌های اول و دوم به‌عنوان زاویه‌ی مچ پا و زاویه‌ی کوچک‌تر بین سگمنت‌های دوم و سوم به‌عنوان زاویه‌ی زانو تعیین شدند. پارامترهای سینماتیکی، در چهار لحظه‌ی کلیدی از نرم‌افزار استخراج شد. لحظه‌ی تماس گام آخر دورخیز، لحظه‌ی تماس مرحله‌ی تیک‌آف، لحظه‌ی بیشترین فلکشن زانوی پای تیک‌آف و لحظه‌ی جدایش پای تیک‌آف از زمین چهار لحظه‌ی مورد تحلیل بودند.

---

1. Casio Exilim  
2. Win analyze version 1-4 3D

در لحظه اول، فقط مکان مارکر پاشنه پای تکیه‌گاه و در سه لحظه دیگر، زمان وقوع، مکان مارکرها و زاویه مفصل پای تیک‌آف از نرم‌افزار خواسته شد. این کار برای همه ۳۷ اجرا انجام شد و از نرم‌افزار یک فایل خروجی برای هر اجرا گرفته شد. شکل ۱ مراحل مورد تحلیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱. وضعیت اندام تحتانی در چهار لحظه مورد نظر برای آنالیز حرکت. از راست به چپ: لحظه تماس گام آخر، لحظه تماس مرحله تیک‌آف، لحظه بیشترین فلکشن زانو، لحظه جهش

فایل‌های خروجی نرم‌افزار به‌عنوان اطلاعات در هشت بخش مجزا که هر یک شامل پارامترهای سینماتیکی اجزای یک شرکت‌کننده بود، وارد نرم‌افزار اکسل شدند و متغیرهای مورد نیاز با نوشتن فرمول‌های مربوطه از اطلاعات خروجی نرم‌افزار تحلیل حرکت به‌دست آمدند. متغیرهای این تحقیق، نحوه محاسبه آنها در جدول ۲ مشاهده می‌شود. پیش از معرفی متغیرها، ذکر چند نکته ضروری است:

۱. همه سرعت‌ها در این مطالعه، سرعت متوسط هستند که از تقسیم جابه‌جایی خطی بر زمان به‌دست آمدند.
۲. با توجه به این که بیشتر متغیرها مربوط به مرحله تیک‌آف هستند، برای سهولت پسوند تیک‌آف حذف شد و متغیرهایی که مربوط به مرحله تیک‌آف نبودند با پسوند مشخص شدند.
۳. همه متغیرها در یکی از چهار لحظه کلیدی مورد تحلیل و یا در مرحله‌های میان دو لحظه رخ می‌دهند. از لحظه تماس تا لحظه mkf به عنوان فاز اول و از لحظه mkf تا لحظه جدایش به عنوان فاز دوم تیک‌آف در نظر گرفته شد.
۴. تغییرات سینماتیکی مارکر قرار گرفته روی مفصل ران در مرحله تیک‌آف با تغییرات سینماتیکی مرکز جرم ورزشکار، تقریباً برابر است (۹). در این مطالعه نیز با پذیرش کمی خطا، به جای محاسبه مرکز جرم واقعی ورزشکار (که خود نیز خالی از خطا نیست) از مارکر مفصل ران استفاده شد.
۵. سرعت عمودی گام آخر<sup>۱</sup> (VYLS) در این تحقیق برابر صفر در نظر گرفته شد.

1. Last stride vertical velocity

جدول ۲. متغیرهای تحقیق و نحوه‌ی محاسبه‌ی آنها

نام متغیر (واحد-نماد)	نحوه‌ی اندازه‌گیری
سرعت افقی گام آخر <sup>۱</sup> (VXLS- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم طول گام آخر بر مدت زمان اجرای گام آخر
سرعت افقی (VX- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی افقی مرکز جرم بر زمان تماس در مرحله‌ی تیک‌آف
سرعت عمودی (VY- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی عمودی مرکز جرم بر زمان تماس در مرحله‌ی تیک‌آف
سرعت افقی فاز اول (VX1- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی افقی مرکز جرم بر زمان تماس در فاز اول تیک‌آف
سرعت افقی فاز دوم (VX2- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی افقی مرکز جرم بر زمان تماس در فاز دوم تیک‌آف
سرعت عمودی فاز اول (VY1- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی عمودی مرکز جرم بر زمان تماس در فاز اول تیک‌آف
سرعت عمودی فاز دوم (VY2- m.s <sup>-1</sup> )	حاصل تقسیم جابه‌جایی عمودی مرکز جرم بر زمان تماس در فاز دوم تیک‌آف
تغییر ارتفاع (dY- m)	تغییر مکان عمودی مارکر مفصل ران در مرحله‌ی تیک‌آف
طول گام (SL - m)	جابه‌جایی افقی پاشنه‌ی پا در گام آخر مرحله‌ی دورخیز
زمان تماس (T- sec)	مدت زمان تماس پای تیک‌آف با زمین در مرحله‌ی تیک‌آف
زاویه‌ی انحراف <sup>۲</sup> (inc- °)	زاویه‌ی بین خط عبور کننده از مارکرهای قرار گرفته روی پاشنه و مفصل ران ورزشکار با خط عمود در لحظه‌ی تماس
مسافت از دست رفته (Dloss- m)	فاصله‌ی مارکر قرار گرفته روی پنجه‌ی پای تیک‌آف از لبه‌ی جلویی تخته‌ی پرش در لحظه‌ی جدایش
کمترین زاویه‌ی زانو (mkf-°)	زاویه‌ی زانو در لحظه‌ای که بیشترین فلکشن صورت می‌پذیرد
زاویه‌ی زانو در لحظه تماس (KAtd-°)	زاویه‌ی زانو در لحظه‌ی تماس

متغیرهای مورد نظر برای همه‌ی اجراها محاسبه شدند و ماتریسی با ۳۷ سطر (به تعداد اجراها) و ۱۴ ستون (به تعداد متغیرها) تشکیل دادند. برای تحلیل عملکرد شرکت‌کننده‌ها، ابتدا الگوی تغییرات سرعت‌های عمودی و افقی ارائه‌شده و با الگوهای موجود مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس با استفاده از متغیرهای محاسبه‌شده، نحوه‌ی اجرای تیک‌آف نمونه‌های این تحقیق با نحوه‌ی اجرای نخبگان جهانی پرش طول مقایسه شد. مهم‌ترین بخش این کار، یافتن مقادیر مرجع مربوط به نخبگان جهان بود. در این راستا از نتایج مطالعات پیشین انجام‌شده روی

1. Last stride horizontal velocity
2. Inclination angle

تیک‌آف پرش طول استفاده شد. سطح رکوردهای نمونه‌ها در مطالعات مختلف یکسان نیست و همچنین روش‌های متفاوتی برای محاسبه‌ی متغیرها به‌کار گرفته‌شده‌است؛ بنابراین مشابه‌بودن روش محاسبه‌ی متغیر و همچنین بالاتر بودن سطح رکورد، به‌عنوان دو معیار مهم مورد نظر قرار گرفت. مطالعات انجام‌شده روی نفرات برتر مسابقات دوومیدانی قهرمانی جهان در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ (۱۴-۱۸) که همگی میانگین رکورد بالای هشت متر داشتند و نتایج گزارش‌شده توسط لینتهورن<sup>۱</sup> که از بررسی مجموعه مطالعات انجام‌شده روی ورزشکاران با میانگین رکورد حدود هشت متر به‌دست آمد (۱۹)، در تحلیل مقایسه‌ای نتایج استفاده شدند. بر این اساس برای هر یک از متغیرها، ۳۷ داده‌ی این تحقیق به همراه یک مقدار مرجع، وارد نرم‌افزار SPSS<sup>۲</sup> شدند و معناداری یا عدم معناداری تفاوت آنها با مقدار مرجع، با استفاده از آزمون تی یک نمونه‌ی مستقل، مورد سنجش قرار گرفت. سطح معناداری برای همه‌ی آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته‌شد.

## نتایج

کد اختصاص داده‌شده، تعداد پرش آنالیزشده، بهترین رکورد و بهترین رکورد در این مسابقه، برای هر یک از ورزشکارها در جدول ۱ دیده می‌شود.

جدول ۱. کد در نظر گرفته‌شده، تعداد پرش، بهترین رکورد و رکورد در این مسابقه برای

### شرکت‌کننده‌ها

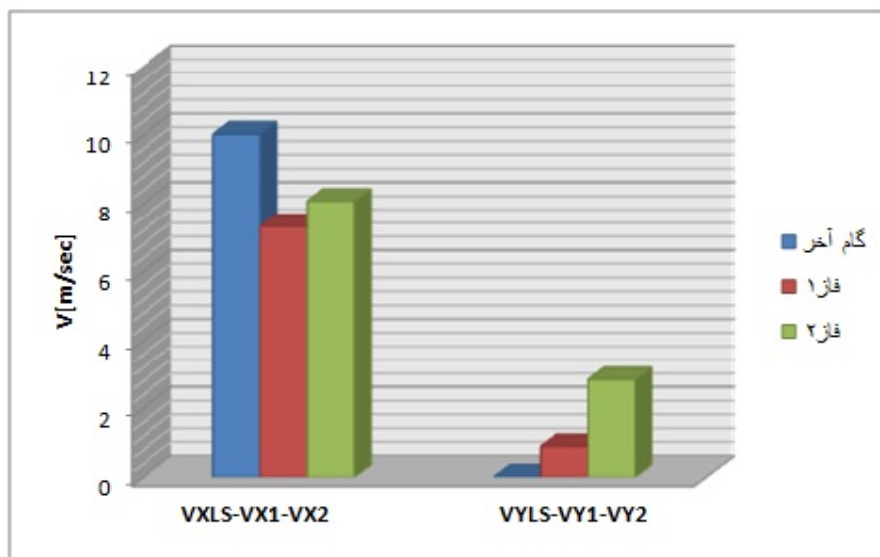
میانگین (انحراف معیار)	مجموع	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	کد ورزشکار
-	۳۷	۵	۴	۳	۵	۵	۵	۵	۵	تعداد پرش
۷/۶۸±۰/۲۸	-	۷/۷۴	۷/۲۰	۷/۵۳	۷/۹۱	۷/۶۷	۷/۹۳	۷/۴۴	۸	بهترین رکورد (m)
۷/۳۹±۰/۲۱	-	۷/۲۸	۷/۱۸	۷/۱۹	۷/۶۵	۷/۵۳	۷/۱۴	۷/۵۶	۷/۵۸	رکورد در این مسابقه (m)

شکل ۲ الگوی تغییرات سرعت را نشان می‌دهد. ستون‌های سمت چپ در این شکل میانگین سرعت افقی را در گام آخر و فاز اول و دوم تیک‌آف نشان می‌دهند. میانگین و انحراف استاندارد

1. Linthorn

2. SPSS version 18

مقادیر به‌دست‌آمده به‌ترتیب،  $۱۰/۰۱ \pm ۰/۶۵$ ،  $۷/۳۲ \pm ۰/۶۷$  و  $۸/۰۷ \pm ۰/۵۳$  متر بر ثانیه بودند. ستون‌های سمت چپ نیز میانگین سرعت‌های عمودی را نشان می‌دهند. سرعت عمودی گام آخر، صفر در نظر گرفته‌شد و برای فاز اول و دوم به‌ترتیب  $۰/۸۹ \pm ۰/۶۷$  و  $۲/۸۳ \pm ۰/۴۴$  متر بر ثانیه به‌دست آمد.



شکل ۲. الگوی تغییرات سرعت. ستون‌های سمت چپ: سرعت افقی گام آخر، سرعت افقی فاز اول و سرعت عمودی فاز دوم

ستون‌های سمت راست: سرعت عمودی گام آخر، سرعت عمودی فاز اول و سرعت عمودی فاز دوم

در جدول ۳ نتایج به‌دست‌آمده از آزمون مقایسه‌ی عملکرد نمونه‌های این تحقیق با نخبگان جهانی پرش طول آورده‌شده‌است. در این جدول، میانگین و انحراف استاندارد گروه نمونه، مقدار مرجع، آماره‌ی  $t$  و مقدار  $p$  دیده می‌شود. عملکرد نمونه‌های این تحقیق در دو متغیر  $dY$  و  $Dloss$  تفاوت معناداری با مقادیر مرجع نداشت، اما در مورد سایر متغیرها، تفاوت آماری معنادار دیده شد. در این تحقیق میزان  $VX$ ،  $VY$ ،  $SL$  و  $mkf$  کمتر از مقادیر مرجع و میزان  $T$ ،  $inc$  و  $KAt_d$  بیشتر از مقادیر مرجع به‌دست آمد.

جدول ۳. نتایج آزمون مقایسه

نام متغیر	میانگین و انحراف استاندارد نمونه	مقدار مرجع	آماره‌ی t	مقدار p
سرعت عمودی مرحله‌ی تیک‌آف (VY- m.s <sup>-1</sup> )	۲/۱۲±۰/۳۳	۲/۳۶	-۴/۵	۰/۰۰۰
سرعت افقی مرحله‌ی تیک‌آف (VX- m.s <sup>-1</sup> )	۷/۷۷±۰/۵۰	۹/۲۵	-۱۸/۱	۰/۰۰۰
طول گام آخر (SL- m)	۱/۹۲±۰/۱۶	۲/۲۱	-۱۱/۲	۰/۰۰۰
تغییر ارتفاع (dY- m)	۰/۲۶±۰/۰۳	۰/۲۶	-۰/۶	۰/۵۵۹
زمان تماس (T- sec)	۰/۱۲۲±۰/۰۱۴	۰/۱۱۵	۳/۲	۰/۰۰۳
زاویه‌ی انحراف (inc- °)	۲۹±۳	۲۵	۸/۱	۰/۰۰۰
زاویه‌ی زانو در لحظه‌ی تماس (KAtd-°)	۱۷۰±۵	۱۶۶	۳/۶	۰/۰۰۱
کمترین زاویه‌ی زانو (mkf-°)	۱۳۹±۷	۱۴۱	-۲/۱	۰/۰۴۶
مسافت از دست رفته (Dloss- m)	۰/۰۸۰±۰/۰۶۱	۰/۰۸۷	-۱/۰	۰/۳۰۰

\* اعداد جدول با توجه به دقت مورد نظر برای هر متغیر، گرد شده‌اند.

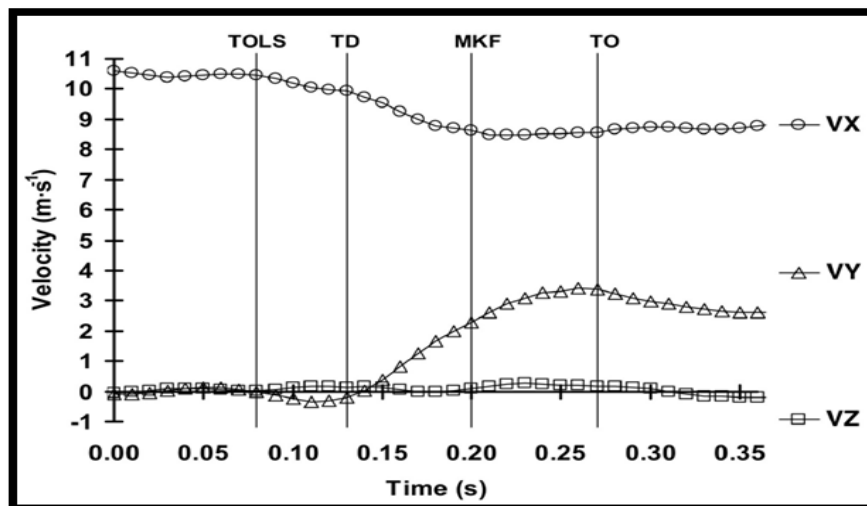
\*\* مقادیر کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ برای p به صورت ۰/۰۰۰ گرد شده‌اند.

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از اجرای این پژوهش، مقایسه‌ی عملکرد تیک‌آف ورزشکاران شرکت‌کننده در مسابقه‌ی پرش طول قهرمانی داخل سالن آسیا با عملکرد نخبگان جهانی این رشته و یافتن نقاط ضعف احتمالی در اجرایشان بود. نتایج به‌دست‌آمده، وجود تفاوت را، هم در الگوی سرعت و هم در نحوه‌ی اجرای مرحله‌ی تیک‌آف نشان داد. شکل ۳ که توسط گراهام - اسمیت و لیز (۸) ارائه شد، الگوی سه بعدی تغییر سرعت را برای آزمودنی‌هایی با میانگین رکورد ۷/۴۵ متر نشان می‌دهد. بر اساس این الگو، سرعت افقی در فاز اول تیک‌آف به‌صورت تقریباً خطی کاهش می‌یابد و در فاز دوم تقریباً ثابت باقی می‌ماند. سرعت عمودی نیز در تمام مرحله‌ی تیک‌آف به‌صورت تقریباً خطی افزایش می‌یابد. این مدل تغییر سرعت در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده‌است (۵،۱۳). مهم‌ترین تفاوت در مقایسه‌ی شکل‌های ۲ و ۳ در میزان به‌دست‌آمده برای سرعت افقی فاز اول تیک‌آف است. ستون VX1 در شکل ۲، افت شدید سرعت افقی را در فاز ترمزی تیک‌آف نشان می‌دهد؛ درحالی‌که بر اساس شکل ۳، این افت باید تدریجی باشد و VX1



باید مقداری بین VXLS و VX2 داشته‌باشد.



شکل ۳. سرعت‌های عمودی، افقی و جانبی لحظه‌ای در گام آخر و مرحله‌ی تیک‌آف ارائه‌شده در تحقیق گراهام اسمیت و لیز (۸). در این نمودار لحظه‌ی تماس با TD، لحظه‌ی بیشترین فلکشن زانو با MKF و لحظه‌ی جهش با TO مشخص شده‌است.

ردیف اول و دوم جدول ۳، نشان می‌دهند که سرعت‌های عمودی و افقی در این تحقیق کم‌تر از مقادیر مرجع است. این تفاوت سه علت می‌تواند داشته‌باشد. علت اول، اختلاف احتمالی سرعت پیشینه‌ی نمونه‌های پژوهش حاضر با ورزشکارهایی با رکورد بالاتر از هشت متر است. تنها توصیه‌ای که در این مورد می‌توان کرد، طراحی تمریناتی در راستای بهبود سرعت پیشینه‌ی آزمودنی‌ها است. با این حال، به‌طور طبیعی حجم زیادی از تمرینات ورزشکاران پرش طول به کارهای سرعتی اختصاص دارد و در واقع چنین توصیه‌ای، نکته‌ی جدیدی برای ورزشکار و مربی ندارد. علت دوم تفاوت سرعت‌ها، مشکلات تکنیکی ورزشکار در تبدیل سرعت افقی به عمودی در مرحله‌ی تیک‌آف است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند. اما بخشی از این تفاوت را نیز می‌توان به‌علت در نظر گرفتن مرکز جرم در مفصل ران ورزشکار دانست. با توجه به حرکت دورانی بدن حول سطح اتکا در مرحله‌ی تیک‌آف، بدیهی است که قراردادن مرکز جرم در مفصل ران که شعاع دوران کم‌تری دارد، سرعت افقی را کم‌تر از میزان واقعی آن برآورد می‌کند. این خطا در مورد سرعت عمودی بسیار ناچیز است. با این حال مشکل اصلی در سرعت شرکت‌کننده‌ها، تغییر الگوی سرعت افقی است که ارتباطی به خطای مذکور ندارد. شرکت‌کننده‌های این مسابقه، طول گام آخر کوتاه‌تری نسبت به نخبگان جهان داشتند. سرعت

دویدن و طول پا می‌توانند بر طول گام اثر بگذارند. طول قد شرکت‌کننده‌های این مسابقه حدود ۱۸۰ سانتی‌متر بود که کم‌تر از میانگین قد ورزشکاران نخبه‌ی پرش طول نیست. به نظر نمی‌رسد که سرعت دورخیز به‌تنهایی مسئول اختلاف طول گام تقریباً ۳۰ سانتی‌متری باشد. محتمل‌ترین دلیل برای توضیح این یافته، اجرای اغراق‌آمیز تکنیک گام‌های آخر است. بر اساس این تکنیک ورزشکار پرش طول گام، ماقبل آخر را بلندتر و گام آخر را کوتاه‌تر از گام‌های قبلی بر می‌دارد و به این ترتیب، مرکز جرم را پایین آورده و برای کسب سرعت عمودی آماده می‌شود (۱۱،۱۲،۱۴). به نظر می‌رسد که شرکت‌کننده‌های این مسابقه، نسبت طول گام‌های آخر را به درستی رعایت نکرده‌اند و یک توصیه‌ی مهم برای آنها می‌تواند برنامه‌ریزی برای تصحیح این تکنیک باشد.

سرعت عمودی در این مطالعه، از تقسیم تغییر ارتفاع عمودی مرکز جرم بر زمان تماس به‌دست آمد. با این حال بر خلاف سرعت عمودی،  $dY$  تفاوت معناداری با مقدار مرجع نشان نداد که نشان می‌دهد شرکت‌کننده‌ها در رسیدن به  $dY$  مطلوب موفق عمل کرده‌اند؛ اما بررسی سایر متغیرها نشان می‌دهد که در این راستا عوامل مهم دیگری را از دست داده‌اند. مدت‌زمان تماس پا با زمین که یکی دیگر از متغیرهای مهم تیک‌آف است، برای نمونه‌های این مطالعه بیشتر از نخبگان جهانی بود. اما مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش در مورد متغیرهای مربوط به نحوه‌ی کاشتن پای تیک‌آف هستند که نتایج به‌دست‌آمده در مورد تغییر ارتفاع، زمان تماس، سرعت‌های عمودی و افقی و همچنین اشکال به‌وجودآمده در الگوی سرعت افقی را توضیح می‌دهند.

بر اساس مشاهده‌ی عملکرد نخبگان جهانی پرش طول و تکنیک‌های مورد استفاده توسط آنها، پای تیک‌آف باید با زاویه‌ی انحرافی در حدود ۲۵ درجه به زمین برخورد کند (۱۶،۲۰). نکته‌ی مهم دیگر اجرای یک فرود فعال<sup>۱</sup> است که طبق آن، ورزشکار لحظاتی قبل از لحظه‌ی تماس، ساق پا را به سمت عقب تاب می‌دهد (۸،۲۱). فرود فعال، موجب اعمال یک نیروی افقی رو به جلو از طرف زمین در لحظه‌ی تماس می‌شود و همچنین ورزشکار را در رسیدن به زاویه‌ی زانوی مناسب حدود ۱۶۶ درجه (۱۳،۱۵،۱۷،۲۲) در لحظه‌ی تماس یاری می‌کند. میزان زاویه‌ی زانو در لحظه‌ی تماس و همچنین زاویه‌ی انحراف پای شرکت‌کننده‌های این مسابقه نسبت به مقادیر مرجع بیشتر بود. در واقع نمونه‌های این تحقیق برای پایین‌آوردن مرکز جرم در لحظه‌ی تماس و رسیدن به  $dY$  مطلوب، به جای کمی خم کردن زانو، زاویه‌ی انحراف پا را از حد بهینه‌ی آن بیشتر کرده‌اند. نتیجه‌ی مستقیم این خطای تکنیکی، افزایش نیروی ترمزی

## 1. Active landing

سطح زمین است که پیامد آن در الگوی سرعت افقی (شکل ۲) مشاهده شد. افت شدید سرعت در فاز اول تیک‌آف، منجر به افزایش زمان تماس شد و شرکت‌کننده‌ها را از رسیدن به سطح سرعت عمودی نخبگان جهان محروم کرد. هرچند نتایج تحقیقات پیشین و همچنین یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهند که ورزشکاران سطح بالاتر زمان تماس کمتری دارند، اما تشویق ورزشکار به کاهش زمان تماس، توصیه‌ی مناسبی نیست؛ زیرا زمان تماس تابع سرعت ورزشکار و طریقه‌ی کاشتن پا است. زمان تماس کوتاه می‌تواند ناشی از اجرای نامناسب مرحله‌ی تیک‌آف با قسمت جلویی پا نیز باشد. این نوع تیک‌آف هرچند می‌تواند افت سرعت را کاهش دهد، اما به علت حذف بخشی از فاز اول تیک‌آف که سهم ۷۰ درصدی در کسب سرعت عمودی دارد (۷،۸)، مطلوب نیست. مناسب بود که نمونه‌ها زاویه‌ی انحراف را کمتر کنند و با کمی افزایش فلکشن زانو در در لحظه‌ی تماس به  $dY$  مطلوب نزدیک شوند. فلکشن زانوی حدود ۱۶۶ درجه، به خصوص وقتی که با یک فرود فعال همراه باشد، از جهات مختلف می‌تواند به ورزشکار کمک کند. ناهم‌راستایی ساق و ران، زانو را در حالت loose-packed قرار داده و موجب یک فرود نرم می‌شود. به این ترتیب، عملکرد ویسکوالاستیک عضلات در فاز اول تیک‌آف، نیروی عکس‌العمل زمین (که بخش اعظم آن در راستای مفصل زانو اعمال می‌شود) را تعدیل می‌کند و ریسک آسیب این مفصل را کاهش می‌دهد (۲۳). کاشتن صحیح پا نیروی ترمزی و در نتیجه اتلاف سرعت افقی را نیز کاهش می‌دهد. به علاوه، به طور بالقوه اکستنسورهای زانو را در وضعیت بهتری برای اعمال نیرو قرار می‌دهد. با این حال، اجرای این تکنیک، در صورتی که اکستنسورهای زانو و ران ورزشکار قدرت اکسنتریک کافی نداشته باشند، موجب سقوط مرکز جرم در فاز اول تیک‌آف می‌شود که تمامی مزایای ذکر شده را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد.

تنها گروه عضلات لحاظ‌شده در مدل ساده‌ی یک مفصله‌ی الکساندر<sup>۱</sup> (۹) اکستنسورهای زانو هستند. این عضلات، به لحاظ عملکردی در فاز اول تیک‌آف به صورت اکسنتریک منقبض می‌شوند و در فاز دوم، علاوه بر انقباض کانسنتریک می‌توانند از مزیت بازتولید نیروی الاستیک ناشی از کارکرد چرخه‌ی کشش - انقباض نیز بهره‌مند شوند. با این حال، انقباض اکسنتریک قوی عضله، مهم‌ترین نقش را در صعود مرکز جرم و کسب سرعت عمودی دارد (۴). میزان فلکشن زانو در فاز اول تیک‌آف، به عنوان معیاری از قدرت اکسنتریک اکستنسورهای زانو در نظر گرفته می‌شود (۱۰-۸،۴). بر اساس جدول ۳، زاویه‌ی زانوی شرکت‌کننده‌های این مسابقه در پایان فاز اول تیک‌آف، کمتر از مقدار مرجع بود. قراردادن این یافته در کنار زاویه‌ی زانوی

---

1. Alexander

لحظه‌ی تماس بزرگ‌تر مشاهده شده در این تحقیق، نشانگر فلکشن بیشتر و در نتیجه، قدرت اکسنتریک کم‌تر شرکت‌کننده‌ها نسبت به نخبگان جهانی است. در آخرین سطر جدول ۳، مسافت از دست‌رفته در تیک‌آف مورد مقایسه قرار گرفته است که تفاوت معناداری بین نمونه‌های تحقیق و نخبگان جهانی مشاهده نشد. بنابراین مشکل خاصی در زمینه‌ی تنظیم طول دورخیز، به چشم نمی‌خورد؛ هرچند این احتمال که کوتاه‌شدن بیش از حد گام آخر برای تصحیح اشتباه در محاسبه‌ی طول دورخیز بوده باشد را نمی‌توان رد کرد.

یافته‌های این تحقیق، علاوه بر تأکید بر نقش سرعت بیشینه و قدرت اکسنتریک اکستنسورهای زانو، اهمیت فراوان انتخاب تکنیک مناسب را نمایان می‌کنند. به نظر می‌رسد که شرکت‌کننده‌های این مسابقه، علی‌رغم آگاهی از نکات تکنیکی، در اجرای صحیح آن ضعف داشتند و از حدود بهینه‌ی تکنیک‌ها فاصله گرفتند. نحوه‌ی تلاش شرکت‌کننده‌ها در رسیدن به  $dY$  همسطح نخبگان جهانی، افت شدید سرعت افقی و افزایش زمان تماس و در نتیجه، عدم توفیق در کسب سرعت عمودی بالا را به دنبال داشت. تیک‌آف پرش طول یک مسأله‌ی بهینه‌سازی است و انتخاب تکنیک، بدون در نظر گرفتن سطح قدرت و سرعت ورزشکار نه تنها رسیدن به رکوردهای بالاتر را میسر نمی‌سازد، بلکه ممکن است او را از رکورد بهینه‌اش دور کند. با توجه به نقش اساسی تکنیک در موفقیت ورزشکارهایی در این سطح، نظارت مداوم بر تمرین‌ها با استفاده از ابزارهای تحلیل حرکت ضروری به نظر می‌رسد.

## منابع

1. Tidow G. Model technique analysis sheet for the horizontal jumps-the long jump. *New Stud Athletic*. 1989;4(3):47-62.
2. Coh M. Kinematics-dynamic analysis of the takeoff action in the long jump. *Track Coach*. 1997;139:4443-5.
3. Conceicao F. Gabriel R. Vilas Boas J. Abrantes, J. Kinematical and dynamical analysis of long jump take-off. A four cases study. *Proceedings of the XIV International Symposium on Biomechanics in Sports (1996)*. Lisboa. International Society of Biomechanics in Sports. 1996. P. 393-6.
4. Hay JG. Changes in muscle-tendon length during the take-off of a running long jump. *J Sport Sci*. 1999;17(2):159-72.
5. Lees A. Fowler N. Derby D. A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump. *J Sport Sci*. 1993;11(4):303-14.
6. Koyama H. Muraki Y. Ae M. *Athletics: Immediate effects of the use of modified*

- take-off boards on the take-off motion of the long jump during training. *Sport Biomech.* 2006;5(2):139-53.
7. Lees A. Graham-Smith P. Fowler N. A biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and takeoff characteristics of the men's long jump. *J Appl Biomech.* 1994;10(1):61-78.
  8. Graham-Smith P. Lees A. A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *J Sport Sci.* 2005;23(9):891-903.
  9. Alexander RM. Optimum take-off techniques for high and long jumps. *Philos T Roy Soc B.* 1990;329:3-10.
  10. Seyfarth A. Blickhan R. Van Leeuwen JL. Optimum take-off techniques and muscle design for long jump. *J Exp Biol.* 2000;203(4):741-50.
۱۱. شهبازی‌مقدم مرتضی، معصومی مفرد فاطمه. تحلیل و اندازه‌گیری بیومکانیکی عوامل منتخب (نیروی عضلات، نیروی عکس‌العمل زمین، کار و توان مصرفی) در مرحله‌ی جهش پرش‌کنندگان طول نخبه‌ی کشور (مردان) به روش غیرمستقیم. حرکت. ۱۳۸۰؛ ۸: ۵۹-۸۲.
12. Hay JG. Approach strategies in the long jump. *Int J Sport Biomech.* 1988;4(2):114-29.
  13. Panoutsakopoulos V. Papaikou GI. Katsikas FS. Kollias IA. 3D biomechanical analysis of the preparation of the long Jump take-off. *New Stud Athletic.* 2010;25(1):55-68.
  14. Koyama H. Ae M. Muraki Y. Biomechanical analysis of the men's and women's long jump at the 11th IAAF world championships in athletics, Osaka 2007: A brief report. Downloaded from the internet (<http://www.spjutforum.se/res/default/biomechanicalresearchvmosaka2007.pdf>): february 15, 2011.
  15. Fukashiro S. Wakayama A. Kojima T. Ito N. Arai T. Iiboshi A. Fuchimoto T. Tan HP. Biomechanical analysis of the long jump (in Japanese). In Japan Association of Athletics Federations (ed.). *The Techniques of the World Top Athletes (Research Report of the 3rd World Championships, Tokyo)* Tokyo: Baseball Magazine Co. 1994. P. 135-51.
  16. German Athletics Federation. Biomechanical analyses at the berlin 2009- 12th IAAF world championships- Final report- Long jump. Scientific research project. IAAF. 2009.
  17. Korean society of sport biomechanics. Biomechanical analyses at the IAAF world championships Daegu 2011 long Jump men – Final. Scientific research project. IAAF. 2011.
  18. Müller H. Hommel H. Biomechanical research project at the VI<sup>th</sup> world championships in athletics, Athens 1997: Preliminary report. *New Stud Athletic.*

- 1997;12(2-3):43-73.
19. Linthorne NP. Guzman MS. Bridgett LA. Optimum take-off angle in the long jump. *J Sport Sci.* 2005;23(7):703-12.
20. Mendoza L. Nixdorf E. Biomechanical analysis of the horizontal jumping events at the 2009 IAAF world championships in athletics. *New Stud Athletic.* 2011;26(3):25-60.
۲۱. بیات محمدرضا، شادمهر بیژن، رجیبی حمید، خواجهی نعیم. دوومیدانی جلد دوم پرشها و پرتابها. چاپ هفتم. تهران: انتشارات سمت؛ ۱۳۸۹. ص ۸۹-۱۱۲.
22. Hong Y. Bartlett R. eds. *Routledge handbook of biomechanics and human movement science.* Routledge. 2008. P. 340-53.
23. Hamill J. Knutzen KM. *Biomechanical basis of human movement (3<sup>th</sup>ed).* Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams and Wilkins; 2009. P. 50-5.

#### ارجاع مقاله به روش ونگوور

عشرستاقی مجتبی، شیرزاد الهام، عرشی احمد رضا. مقایسه‌ی عملکرد تیک‌آف پرش طول ورزشکاران شرکت‌کننده در مسابقات قهرمانی آسیا با نخبگان جهان. *مطالعات طب ورزشی*، ۱۳۹۲؛ ۵ (۱۴): ۱۳۴-۱۲۱