**تاثیر نوع پرش و فرود در دفاع روی تور بر ویژگی­های حرکات مرکز فشار پا در والیبالیست­های حرفه­ای**

## چکیده

**مقدمه:** دفاع روی تور یکی از مهم‌ترین مهارت‌های ورزش والیبال محسوب می‌شود که به ترکیبی از تصمیم‌گیری سریع، توان عضلانی، تعادل و کنترل پاسچر نیاز دارد. یکی از جنبه‌های کلیدی در اجرای موفق این مهارت، نحوه پرش و فرود ورزشکاران است؛ زیرا فرودهای ناپایدار می‌توانند نه تنها عملکرد دفاعی را مختل کنند، بلکه خطر بروز آسیب به‌ویژه در ناحیه مچ پا و زانو را افزایش دهند. مرکز فشار پا به عنوان شاخصی برای بررسی پایداری و تعادل بدن در حین ایستادن و حرکت شناخته می‌شود و بررسی ویژگی‌های آن می‌تواند اطلاعات مهمی درباره نحوه کنترل پاسچر پس از پرش و فرود ارائه دهد.

**هدف:** هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر نوع پرش و فرود در دفاع روی تور بر ویژگی‌های حرکات مرکز فشار پا در والیبالیست‌های حرفه‌ای بود. در این مطالعه تلاش شد تا الگوهای پایداری پس از فرود در حرکات مختلف جانبی و مستقیم و تفاوت بین ورزشکاران ماهر و مبتدی مورد تحلیل قرار گیرد.

**روش‌شناسی:** این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی و به صورت مقطعی انجام شد. جامعه آماری شامل بازیکنان مرد والیبالیست حرفه‌ای و مبتدی بود که با نمونه‌گیری هدفمند، ۱۰ ورزشکار حرفه‌ای از لیگ‌های رسمی و ۱۰ ورزشکار مبتدی (با حداقل دو سال سابقه تمرین) انتخاب شدند. تکالیف شامل پنج نوع حرکت دفاعی شامل پرش درجا، پرش با گام به راست، پرش با گام به چپ، پرش با گام بلند به راست و پرش با گام بلند به چپ بود. هر آزمودنی هر تکلیف را ۵ بار اجرا کرد. اطلاعات مرکز فشار از طریق صفحه نیرو ثبت شد و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Nexus 1.8.2 استخراج گردید. شاخص‌های استخراج‌شده شامل مسیر نوسانات CoP در جهت قدامی-خلفی (AP) و میانی-جانبی (ML)، سرعت نوسانات و انحراف معیار مسیر CoP بود. برای تحلیل آماری از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که نوع پرش و فرود تأثیر معناداری بر ویژگی‌های CoP دارد (p < 0.05). در شرایط پرش جانبی به‌ویژه گام بلند به سمت چپ، بیشترین نوسانات CoP و بالاترین سرعت حرکت مرکز فشار مشاهده شد. والیبالیست‌های حرفه‌ای در مقایسه با مبتدیان در اغلب شرایط نوسانات کمتری در CoP نشان دادند و سرعت بازیابی تعادل در آن‌ها بالاتر بود. تفاوت بین جهت حرکت راست و چپ نیز از نظر آماری معنادار بود، به طوری‌که حرکات به سمت پای غیرغالب (اغلب سمت چپ برای راست‌پاها) با کاهش ثبات همراه بود.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که نوع حرکت دفاعی و جهت پرش در دفاع روی تور تأثیر بسزایی بر الگوهای تعادلی والیبالیست‌ها دارد. بازیکنان هنگام حرکت به سمت غیرغالب، ناپایدارتر هستند و این موضوع می‌تواند آن‌ها را مستعد آسیب کند. تمرینات هدفمند برای تقویت تعادل در حرکات جانبی، به‌ویژه در جهت غیرغالب، و همچنین آموزش تکنیک‌های صحیح پرش و فرود، می‌تواند به بهبود عملکرد و پیشگیری از آسیب‌های رایج در والیبال کمک کند.

**واژگان کلیدی:** تعادل، مرکز فشار، پرش دفاعی، فرود، بیومکانیک، والیبالیست حرفه‌ای.

## بیان مسئله

والیبال که با حرکات انفجاری و تغییرات سریع در جهت‌گیری شناخته می‌شود، فشارهای زیادی بر سیستم‌های عصبی-عضلانی ورزشکاران وارد می‌کند. دفاع روی تور، که یک مهارت حیاتی شامل پرش‌ها و فرودهای با شدت بالاست، نیازمندی‌های بالایی دارد و با خطر آسیب‌دیدگی همراه است. درک بیومکانیک این حرکات برای بهینه‌سازی عملکرد بازیکنان و کاهش خطر آسیب ضروری است. والیبال ورزشی با نیازمندی‌های بالا است که شامل پرش‌ها و فرودهای مکرر با شدت زیاد می‌باشد ([2](#_ENREF_2)). اسپک هجومی و دفاع روی تور دو مهارت اساسی هستند که بازیکنان را ملزم به تولید نیروهای عمودی بالا و جذب کاهش سرعت‌های سریع هنگام فرود می‌کنند. مطالعات قبلی تفاوت‌های کینماتیکی بین مکانیک پرش و فرود در حرکات هجومی و دفاعی را در والیبال نشان داده‌اند و بیان می‌کنند که پرش‌های دفاعی معمولاً ارتفاع کمتری دارند اما شامل حرکات جانبی بیشتری هستند([3](#_ENREF_3)). علاوه بر این، مرحله فرود این حرکات بسیار حیاتی است، زیرا ممکن است بازیکنان را در معرض نیروهای عکس‌العمل زمین بالا قرار دهد که می‌تواند به آسیب‌های ناشی از استفاده مفرط در اندام تحتانی منجر شود ([2](#_ENREF_2)).

مرکز فشار (COP)[[1]](#footnote-1)، که نشان‌دهنده نقطه اعمال نیروی عکس‌العمل زمین است، اطلاعات ارزشمندی درباره تعادل، پایداری و کنترل عصبی-عضلانی ورزشکار در حین حرکات دینامیک ارائه می‌دهد. تحلیل جابه‌جایی‌های COP می‌تواند اطلاعات حیاتی درباره توانایی ورزشکار در حفظ تعادل و کنترل نیروها در مراحل پرتکاپوی پرش دفاع روی تور، به‌ویژه هنگام فرود، ارائه دهد.

مطالعات پیشین کینماتیک حرکات اسپک و دفاع روی تور در والیبال را بررسی کرده‌اند و تفاوت‌هایی در ارتفاع پرش، مکانیک فرود و نیروهای عکس‌العمل زمین بین حرکات هجومی و دفاعی نشان داده‌اند ([4](#_ENREF_4)). با این حال، این مطالعات بیشتر بر متغیرهای کینماتیکی تمرکز داشته و ویژگی‌های بیومکانیکی خاص مرکز فشار در مراحل مختلف پرش دفاع روی تور را به‌طور محدود بررسی کرده‌اند.

درک بیومکانیک حرکات بازیکنان والیبال در اقدامات دفاعی روی تور برای بهینه‌سازی تمرینات و کاهش خطر آسیب ضروری است. مرکز فشار یکی از شاخص‌های مهمی است که کنترل عصبی-عضلانی و بارگذاری اندام تحتانی را در حین حرکات پیچیده ورزشی نشان می‌دهد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر انواع مختلف پرش‌های مورد استفاده در دفاع روی تور والیبال بر ویژگی‌های جابه‌جایی مرکز فشار در بازیکنان حرفه‌ای انجام می‌شود.

علاوه بر این، در حالی که اهمیت تکنیک‌های مناسب فرود برای پیشگیری از آسیب‌ها در والیبال به خوبی مشخص شده است ([5](#_ENREF_5)). رابطه بین دینامیک COP در فرود و خطر آسیب در این زمینه نسبتاً کمتر بررسی شده است. درک اینکه چگونه انواع مختلف پرش‌های مورد استفاده در دفاع روی تور بر حرکات COP، به‌ویژه در مرحله فرود، تأثیر می‌گذارند، می‌تواند بینش‌های ارزشمندی درباره عوامل مؤثر بر خطر آسیب در این جمعیت ارائه دهد.

چندین مطالعه کینماتیک حرکات اسپک و دفاع روی تور در والیبال را بررسی کرده‌اند و بینش‌هایی در مورد اجرای تکنیکی و عوامل عملکردی مرتبط با این مهارت‌ها ارائه داده‌اند ([3](#_ENREF_3), [4](#_ENREF_4), [6-8](#_ENREF_6)). با این حال، تحقیقات کمی به بررسی ویژگی‌های خاص بیومکانیکی مرکز فشار در پرش‌های دفاعی روی تور در بازیکنان حرفه‌ای والیبال پرداخته‌اند. مطالعه حاضر با هدف پر کردن این خلأ تحقیقاتی، تفاوت‌های جابه‌جایی، مقادیر مجذور میانگین مربعات و سرعت‌ مرکز فشار را بین انواع مختلف پرش‌های دفاع روی تور در بازیکنان حرفه‌ای والیبال بررسی می‌کند. لذا این پژوهش با هدف پر کردن این شکاف، تأثیر انواع مختلف پرش‌های مورد استفاده در دفاع روی تور والیبال را بر ویژگی‌های جابه‌جایی مرکز فشار در بازیکنان حرفه‌ای بررسی می‌کند. با پرداختن به این سوالات پژوهشی، نتایج می‌توانند بینش‌های ارزشمندی درباره کنترل عصبی-عضلانی و الگوهای بارگذاری تجربه‌شده توسط بازیکنان والیبال در حرکات دفاع روی تور ارائه دهند. این بینش‌ها می‌توانند در توسعه برنامه‌های تمرینی هدفمند، استراتژی‌های پیشگیری از آسیب و طراحی مداخلات مربیگری مؤثرتر برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش خطر آسیب‌های اندام تحتانی در بازیکنان حرفه‌ای والیبال مفید باشند.

## نوع تحقیق

پژوهش حاضر از نظر **هدف**، در زمره تحقیقات **کاربردی** قرار می‌گیرد؛ چرا که نتایج آن می‌تواند به بهبود عملکرد ورزشی و پیشگیری از آسیب در ورزشکاران، به‌ویژه والیبالیست‌ها، کمک کند. از نظر **ماهیت و روش اجرا**، این تحقیق یک مطالعه نیمه‌تجربی[[2]](#footnote-2) است که با بهره‌گیری از **طرح مقایسه بین‌گروهی و درون‌گروهی** انجام شده است. در این پژوهش، ویژگی‌های مرکز فشار پا (CoP) در هنگام فرود پس از انواع مختلف پرش دفاعی، در دو گروه از والیبالیست‌ها (ماهر و مبتدی) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. متغیرهای وابسته شامل نوسانات، مقدار RMS و سرعت حرکات مرکز فشار پا در دو راستای قدامی–خلفی (AP) و جانبی (ML) بوده و متغیر مستقل، نوع پرش دفاعی (پنج حالت مختلف) در نظر گرفته شده است. با توجه به ماهیت مداخله‌گر پژوهشگر در کنترل شرایط اجرای آزمون، اما بدون تصادفی‌سازی کامل، این پژوهش در دسته مطالعات نیمه‌آزمایشی با طراحی تکرارپذیر قرار می‌گیرد

## 3-3 نمونه آماری

جامعه آماری این پژوهش شامل ورزشکاران مرد والیبالیست بود که در سطوح مختلف مهارتی فعالیت داشتند. این مطالعه از نوع مقطعی و توصیفی بوده و در آزمایشگاه بیومکانیک ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان انجام شد. برای تعیین تعداد نمونه لازم، از نرم‌افزار G\*Power با سطح معناداری α = 0.05 و توان آماری 80 درصد استفاده شد که بر اساس نتایج حاصل، حداقل تعداد نمونه مورد نیاز برای هر گروه ۸ نفر تعیین گردید. با هدف افزایش دقت آماری، در نهایت ۱۰ والیبالیست حرفه‌ای از لیگ‌های رسمی کشور و ۱۰ والیبالیست مبتدی (با حداقل دو سال سابقه تمرین منظم والیبال) به‌صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند.

## 3-4 شرایط ورود

* مرد بودن و برخورداری از سلامت کامل جسمانی جهت شرکت در آزمون‌های حرکتی؛
* برای گروه حرفه‌ای: عضویت در تیم‌های لیگ رسمی والیبال؛
* برای گروه مبتدی: حداقل دو سال سابقه تمرین و فعالیت در رشته والیبال بدون حضور در لیگ‌های حرفه‌ای؛
* عدم سابقه آسیب‌دیدگی شدید اندام‌های فوقانی و تحتانی (شامل دررفتگی مفاصل، کشیدگی عضلات یا شکستگی) در یک سال گذشته؛
* عدم مصرف داروهای خاص یا شرکت در برنامه‌های درمانی پزشکی در یک ماه پیش از آزمون؛
* رضایت‌نامه کتبی شرکت در پژوهش.

پیش از شروع آزمون‌ها، هدف مطالعه، روند اجرای آزمون و نکات ایمنی برای تمامی شرکت‌کنندگان به‌صورت کامل تشریح شد. تمامی مراحل انجام پژوهش با کد اخلاق ( .................) به تأیید شورای پژوهشی و کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان رسیده و مطابق با دستورالعمل‌های اخلاقی بیانیه هلسینکی انجام گرفت.

## 3-5 شرایط خروج

* بروز هرگونه آسیب‌دیدگی جدید یا احساس درد حین انجام آزمون که مانع ادامه همکاری آزمودنی شود؛
* عدم همکاری کامل در طی مراحل اجرای آزمون‌ها یا رعایت نکردن دستورالعمل‌ها؛
* استفاده از داروهای مؤثر بر سیستم عصبی-عضلانی یا متابولیسم در طول دوره مطالعه؛
* غیبت در جلسات مربوط به آزمون یا انصراف داوطلبانه از ادامه شرکت در پژوهش؛
* شناسایی سابقه آسیب جدی اندام فوقانی یا تحتانی که در زمان ورود به مطالعه به‌درستی گزارش نشده باشد.

##  3-6 متغیرهای تحقیق

### 3-6-1 متغیر مستقل

نوع پرش در دفاع روی تور (در پنج حالت مختلف: پرش وسط، پرش از راست، پرش بلند از راست، پرش از چپ، پرش بلند از چپ)

این متغیر به‌صورت درون‌گروهی (within-subject) بررسی شده و اثر آن بر ویژگی‌های مختلف مرکز فشار پا تحلیل گردیده است. همچنین سطح مهارت بازیکنان (گروه ماهر و مبتدی) به‌عنوان یک عامل بین‌گروهی (between-subject) در تحلیل‌ها در نظر گرفته شده است.

### 3-6-2 متغیر وابسته

* نوسانات مرکز فشار پا (CoP sway) در دو جهت: قدامی–خلفی (Anterior-Posterior: AP) و جانبی–عرضی (Medio-Lateral: ML)
* ریشه میانگین مربع نوسانات (RMS) CoP در دو جهت: AP و ML
* سرعت حرکات مرکز فشار پا (Velocity of CoP) در دو جهت: AP و ML

## 3-7 ابزارهای اندازه‌گیری

با توجه به اینکه در این مطالعه متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی مربوط به دفاع روی تور در ورزش والیبال مورد بررسی قرار گرفتند، از تجهیزات سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی Vicon و صفحه نیروی Kistler بهره گرفته شد. برای ثبت متغیرهای کینماتیکی، از چهار دوربین Vicon T20s با نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز استفاده گردید. این دوربین‌ها در چهار گوشه‌ی فضایی به ابعاد ۱۰ در ۱۸ متر و در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین نصب شدند. در مرکز این فضا، دو صفحه نیروی Kistler روی زمین تعبیه شد و ناحیه‌ای با ابعاد ۱.۵×۲×۳ متر برای کالیبراسیون دوربین‌ها اختصاص یافت. کالیبراسیون دوربین‌ها با حرکت دادن شیء مشخصی به نام Vand در این فضا انجام گرفت. در ادامه، شانزده مارکر کروی با خاصیت بازتاب نور و قطر ۱۴ میلی‌متر به نقاط آناتومیکی مشخصی در هر دو پای شرکت‌کنندگان، مطابق با الگوی مارکرگذاری (Plug-In Gait Marker Set, Vicon Peak, Oxford, UK) متصل شد ([74](#_ENREF_74)). این نقاط شامل خار خاصره قدامی و خلفی فوقانی، اپی‌کندیل خارجی ران، یک‌سوم پایینی ران و ساق، قوزک خارجی، سر دومین استخوان متاتارس و پشت پاشنه پا بودند. همه تجهیزات ذکرشده به طور هم‌زمان راه‌اندازی و داده‌های آن‌ها به صورت همزمان ثبت شدند.



شکل 3-1. نمایی از نرم افزار نکسوس 4-2 استفاده شده برای تحلیل داده

## 3-8 مراحل و روش اجرای پژوهش

پس از آماده‌سازی فضای آزمایشگاهی و انجام مراحل کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری نظیر دوربین‌های ثبت حرکت و صفحه نیرو، مارکرهای بازتاب‌دهنده نور مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد بیومکانیکی بر روی نقاط آناتومیکی بدن آزمودنی‌ها نصب گردید. سپس اطلاعات پایه‌ای مانند قد، وزن، پای غالب و سوابق ورزشی هر فرد ثبت شد.

برای اجرای آزمون‌های پژوهش، ابتدا یک تور والیبال با ارتفاع استاندارد ۲.۴۳ متر در مرکز فضای کالیبره‌شده آزمایشگاه بیومکانیک نصب گردید، به‌گونه‌ای که دو صفحه نیرو (force plate) در دو طرف تور و در امتداد آن قرار گرفتند تا محل فرود آزمودنی‌ها به‌طور دقیق ثبت شود. پیش از شروع ثبت داده‌ها، شرکت‌کنندگان تحت یک برنامه گرم‌کردن عمومی شامل دویدن سبک و حرکات کششی برای اندام فوقانی و تحتانی به مدت حدود ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. همچنین، برای آشنایی با شرایط محیطی و نحوه انجام تکالیف، از هر فرد خواسته شد تا پنج بار حرکت دفاع روی تور را بدون ثبت داده اجرا کند.

در ادامه، به منظور تعیین موقعیت مفاصل و مختصات اعضای بدن در حالت ایستاده، از هر آزمودنی یک تست استاتیک گرفته شد. سپس، افراد موظف بودند پنج نوع تکلیف حرکتی شبیه‌سازی‌شده از موقعیت‌های واقعی دفاع روی تور را به‌ترتیب تصادفی انجام دهند. این وظایف حرکتی شامل موارد زیر بود:

* پرش در جا (بدون گام) و دفاع روی تور
* گام‌برداری به سمت راست و دفاع روی تور
* گام‌برداری به سمت چپ و دفاع روی تور
* گام بلند عرضی به سمت راست و دفاع روی تور
* گام بلند عرضی به سمت چپ و دفاع روی تور

در هر وضعیت، ۵ تکرار توسط آزمودنی انجام شد. تکرارهایی برای تحلیل نهایی انتخاب شدند که از نظر تکنیکی صحیح و از نظر حفظ تعادل در لحظه فرود، پایدار بودند. برای محاسبات آماری، میانگین سه تکرار موفق در هر وضعیت به‌عنوان داده نهایی در نظر گرفته شد. همچنین برای جلوگیری از خستگی، بین اجرای هر تکرار یا تغییر وضعیت، استراحت کافی در نظر گرفته شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، داده‌های کینماتیکی و نیروهای عکس‌العمل زمین (GRF) با استفاده از یک فیلتر پایین‌گذر باتروورث مرتبه چهارم با شیفت صفر (zero-lag) پردازش شدند؛ به‌طوری که برای داده‌های حرکتی فرکانس قطع برابر ۶ هرتز و برای داده‌های GRF برابر ۲۰ هرتز در نظر گرفته شد. این پردازش با هدف حذف نویز و استخراج الگوهای واقعی حرکت انجام شد. در این پژوهش تمرکز بر ویژگی‌های حرکتی مرکز فشار پا در حین فرود پس از دفاع روی تور بود. تمامی متغیرهای وابسته از داده‌های ثبت‌شده توسط صفحه نیرو استخراج گردیدند. داده‌ها به مدت چند ثانیه پس از فرود ثبت شدند تا شاخص‌های تعادلی به‌طور کامل اندازه‌گیری شود. همچنین برای افزایش دقت تحلیل، تمامی داده‌ها نسبت به وزن بدن نرمال‌سازی شدند.

برای استخراج داده‌های حرکتی و نیرو، از نرم‌افزار **Nexus نسخه 1.8.2** ساخت شرکت **Vicon Motion Systems** استفاده شد. پس از ثبت حرکات آزمودنی‌ها توسط دوربین‌های مادون قرمز و صفحه نیرو، داده‌های خام جمع‌آوری‌شده وارد نرم‌افزار Nexus گردید و پردازش اولیه شامل تعیین مدل اسکلت‌بندی، شناسایی مارکرها، تعیین مختصات نقاط آناتومیکی بدن، و هم‌راستاسازی سیگنال‌های کینماتیکی و دینامیکی انجام شد.

داده‌های مربوط به مرکز فشار پس از استخراج از سیگنال‌های نیروی عمودی، جانبی و قدامی–خلفی صفحه نیرو، برای تحلیل ویژگی‌های تعادلی در مرحله فرود استفاده شدند. سیگنال‌های به‌دست‌آمده پیش از ورود به مرحله تحلیل، با استفاده از فیلتر پایین‌گذر باتروورث با فرکانس قطع مناسب پالایش گردیدند تا نویزهای احتمالی کاهش یابد و اطلاعات واقعی حرکت بازسازی شود. در ادامه، متغیرهای وابسته شامل نوسانات، مقدار RMS، و سرعت حرکت مرکز فشار در هر دو راستای AP و ML از داده‌های پردازش‌شده استخراج شدند.

## 3-9 روش تجزیه و تحلیل داده­ها

داده‌های استخراج‌شده از متغیرهای وابسته شامل نوسانات مرکز فشار، ریشه میانگین مربعات نوسانات، و میانگین سرعت حرکت مرکز فشار در دو جهت قدامی–خلفی (AP) و جانبی–عرضی (ML)، پس از آماده‌سازی و پیش‌پردازش، وارد نرم‌افزار آماری SPSS نسخه۲۶ گردید.

برای بررسی فرضیه‌های پژوهش، از آزمون‌های آماری زیر استفاده شد:

1. آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (Repeated Measures ANOVA) به‌منظور بررسی تفاوت در مقادیر متغیرهای وابسته در بین انواع مختلف پرش (پنج وضعیت مختلف) در هر گروه (ماهر و مبتدی) به‌صورت جداگانه؛
2. بررسی تأثیر جهت حرکت CoP (ML , AP) به‌عنوان یک عامل درون‌گروهی دوم در مدل؛
3. بررسی تعامل نوع پرش × جهت حرکت برای تحلیل ترکیبی تأثیر نوع پرش و راستای نوسانات CoP؛
4. برای مقایسه بین‌گروهی (گروه حرفه‌ای در مقابل گروه مبتدی) در هر یک از شرایط و جهت‌ها، از تحلیل واریانس دوطرفه (Two-Way ANOVA) استفاده شد؛
5. در صورت مشاهده تفاوت معنادار، از آزمون‌های تعقیبی (post hoc) با تصحیح بونفرونی برای مقایسه زوجی بین شرایط استفاده گردید.

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، مفروضات آزمون‌های پارامتریک شامل نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Mauchly’s Test و در صورت لزوم اصلاح گرین‌هاوس-گایزر مورد بررسی قرار گرفت. سطح معناداری در تمامی آزمون‌ها (05/0 >p) در نظر گرفته شد.

## نتایج

میانگین و انحراف استاندارد (SD) ویژگی­های دموگرافیک آزمودنی­های پژوهش حاضر در جدول 4-1 ارانه شده است.

**جدول 4-1.** میانگین و انحراف استاندارد (SD) ویژگی­های دموگرافیک آزمودنی­ها در گروه­های مورد مطالعه

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | گروه |  |  |
|  متغیرها |  |  مبتدی |  |  حرفه­ای |  | Sig. |
| جرم (کیلوگرم) |  | 30/8 ± 60/76 |  | 99/8 ± 60/86 |  | 019/0 |
| قد (متر) |  | 05/0 ± 81/1 |  | 06/0 ± 96/1 |  | 000/0 |
| BMI |  | 19/2 ± 32/23 |  | 10/2 ± 54/22 |  | 427/0 |

نکته اختصارات: SD: انحراف استاندارد. BMI (*Body Mass Index*): نسبت وزن بر قد به توان 2.

نتایج مقایسه بین گروهی در جدول 4-2 ارائه گردیده است. طبق نتایج، اختلاف بین نوسانات قامتی دو گروه در اکثر آزمون­ها، معنی­دار نبوده است اما در کل این متغیر در گروه والیبالیست­های ماهر بیشتر بود. اختلاف معنی­دار دو گروه در نوسان قامت حین فرود فقط در پرش کوتاه و پرش کوتاه از چپ در جهت Y معنی­دار بودند (شکل­های 4-1 و 4-2).

جدول 4-2. نتایج مقایسه بین دو گروه مبتدی و حرفه­ای در مقدار نوسانات پرش­های مختلف روی تور

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | جهت | گروه مبتدی | گروه ماهر | F | P.value |
| پرش وسط | AP | (26/22) 95/53 | (66/13) 72/69 | 64/3 | 072/0 |
| ML | (87/13) 74/42 | (68/9) 73/55 | 90/5 | 026/0 |
| پرش از راست | AP | (57/16) 51/49 | (64/15) 21/60 | 21/2 | 155/0 |
| ML | (12/20) 61/57 | (40/18) 21/68 | 51/1 | 234/0 |
| پرش بلند از راست | AP | (44/14) 30/37 | (33/8) 92/41 | 771/0 | 392/0 |
| ML | (35/32) 71/82 | (58/19) 83/68 | 35/1 | 261/0 |
| پرش از چپ | AP | (76/11) 79/47 | (38/9) 68/55 | 75/2 | 155/0 |
| ML | (51/7) 88/58 | (60/17) 34/78 | 35/10 | 005/0 |
| پرش بلند از چپ | AP | (74/10) 18/39 | (22/19) 35/43 | 358/0 | 557/0 |
| ML | (55/26) 67/71 | (00/31) 02/67 | 129/0 | 723/0 |

نتایج بررسی درون گروهی (گروه مبتدی) را در جداول 4-3 و 4-4 مشاهده می­کنید. تحلیل عاملی در گروه مبتدی نشان داد، نوع پرش در مقدار نوسانات قامت این گروه حین فرود تاثیر معنی­داری نداشته است. اما عامل جهت در این گروه دارای تاثیر معنی­داری بوده است (AP<ML). تعامل بین نوع پرش و جهت حرکات CoP نیز معنی­دار نبودند، بدین معنی که در همه پرش­ها، مقدار نوسانات در جهت ML بزرگتر از جهت AP بوده است.

جدول 4-3. نتایج تحلیل عاملی متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| عامل­ها | F | P.value | Eta |
| نوع پرش | 646/0 | 650/0 | 30/0 |
| جهت نوسانات | 23/32 | 000/0 | 78/0 |
| نوع پرش\* جهت | 646/0 | 646/0 | 646/0 |

جدول 4-4. نتایج مقایسه جفتی آزمون­ها در متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | پرش وسط | پرش از راست | پرش بلند از راست | پرش از چپ | پرش بلند از چپ |
| پرش وسط |  | 00/1 | 00/1 | 00/1 | 00/1 |
| پرش از راست | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 | 00/1 |
| پرش بلند از راست | 00/1 | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 |
| پرش از چپ | 00/1 | 00/1 | 00/1 |  | 00/1 |
| پرش بلند از چپ | 00/1 | 00/1 | 00/1 | 00/1 |  |

نتایج بررسی درون گروهی (گروه ماهر) را در جداول 4-5 و 4-6 مشاهده می­کنید. تحلیل عاملی در این گروه نشان داد، نوع پرش در مقدار نوسانات قامت این گروه حین فرود تاثیر معنی­داری داشته است. طبق مقایسه جفتی، مقدار نوسانات در پرش بلند از راست و چپ به طور معنی­داری پایین­تر از پرش­ از سمت چپ بوده است. اما عامل جهت نیز در این گروه دارای تاثیر معنی­داری بوده است (AP<ML). تعامل بین نوع پرش و جهت حرکات CoP نیز معنی­دار بود، با توجه به شکل 4-3 در پرش وسط مقدار نوسانات در جهت AP بزرگتر از جهت ML، اما در بقیه موارد این نتیجه معکوس بوده است.

جدول 4-5. نتایج تحلیل عاملی متغیر نوسانات قامتی در گروه ماهر

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| عامل­ها | F | P.value | Eta |
| نوع پرش | 39/6 | 024/0 | 81/0 |
| جهت نوسانات | 81/12 | 006/0 | 59/0 |
| نوع پرش\* جهت | 45/5 | 034/0 | 78/0 |

جدول 4-6. نتایج مقایسه جفتی آزمون­ها در متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | پرش وسط | پرش از راست | پرش بلند از راست | پرش از چپ | پرش بلند از چپ |
| پرش وسط |  | 00/1 | 32/0 | 00/1 | 00/1 |
| پرش از راست | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 | 00/1 |
| پرش بلند از راست | 32/0 | 00/1 |  | **002/0** | 00/1 |
| پرش از چپ | 00/1 | 00/1 | **002/0** |  | **003/0** |
| پرش بلند از چپ | 00/1 | 00/1 | 00/1 | **003/0** |  |

****

شکل 4-3، تعامل بین دو عامل نوع پرش و جهت نوسانات قامت در گروه والیبالیست حرفه­ای

نتایج مقایسه بین گروهی در متغیر سرعت حرکات CoP در جدول 4-12 ارائه گردیده است. طبق نتایج، اختلاف بین دو گروه در هیچ­کدام از آزمون­ها، معنی­دار نبوده است. این مقایسه در شکل­های 4-8 و 4-9 نشان داده شده است.

جدول 4-12. نتایج مقایسه بین دو گروه مبتدی و حرفه­ای در سرعت حرکات CoP پرش­های مختلف روی تور

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | جهت | گروه مبتدی | گروه ماهر | F | P.value |
| پرش کوتاه | AP | (36/0) 96/0 | (27/0) 11/1 | 07/1 | 315/0 |
| ML | (38/0) 11/1 | (25/0) 15/1 | 064/0 | 803/0 |
| پرش از راست | AP | (33/0) 18/1 | (27/0) 42/1 | 20/3 | 091/0 |
| ML | (56/0) 33/1 | (32/0) 36/1 | 019/0 | 893/0 |
| پرش بلند از راست | AP | (36/0) 25/1 | (32/0) 32/1 | 199/0 | 660/0 |
| ML | (40/0) 44/1 | (36/0) 46/1 | 007/0 | 936/0 |
| پرش از چپ | AP | (45/0) 30/1 | (36/0) 42/1 | 468/0 | 503/0 |
| ML | (29/0) 21/1 | (25/0) 37/1 | 78/1 | 198/0 |
| پرش بلند از چپ | AP | (33/0) 26/1 | (25/0) 41/1 | 18/1 | 291/0 |
| ML | (43/0) 60/1 | (51/0) 70/1 | 197/0 | 662/0 |

نتایج بررسی درون گروهی (گروه مبتدی) را در جداول 4-13 و 4-14 مشاهده می­کنید. تحلیل عاملی در گروه مبتدی نشان داد، نوع پرش در مقدار نوسانات قامت این گروه حین فرود تاثیر معنی­داری نداشته است. اما عامل جهت در این گروه دارای تاثیر معنی­داری بوده است (AP<ML). تعامل بین نوع پرش و جهت حرکات CoP نیز معنی­دار نبودند، بدین معنی که در همه پرش­ها، مقدار نوسانات در جهت ML بزرگتر از جهت AP بوده است (شکل 4-10).

جدول 4-13. نتایج تحلیل عاملی متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| عامل­ها | F | P.value | Eta |
| نوع پرش | 56/2 | 145/0 | 63/0 |
| جهت نوسانات | 70/8 | 016/0 | 49/0 |
| نوع پرش\* جهت | 58/3 | 08/0 | 71/0 |

جدول 4-14. نتایج مقایسه جفتی آزمون­ها در متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | پرش کوتاه | پرش از راست | پرش بلند از راست | پرش از چپ | پرش بلند از چپ |
| پرش کوتاه |  | 00/1 | 268/0 | 687/0 | 073/0 |
| پرش از راست | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 | 00/1 |
| پرش بلند از راست | 268/0 | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 |
| پرش از چپ | 687/0 | 00/1 | 00/1 |  | 678/0 |
| پرش بلند از چپ | 073/0 | 00/1 | 00/1 | 678/0 |  |

نتایج بررسی درون گروهی (گروه ماهر) را در جداول 4-15 و 4-16 مشاهده می­کنید. تحلیل عاملی در این گروه نشان داد، هیچ­کدام از عوامل دخیل در این مطالعه بر سزعت حرکات مرکز فشار پا تاثیر معنی­داری نداشته­اند. شکل 4-11 تعامل بین عوامل را در این متغیر نشان داده است.

جدول 4-15. نتایج تحلیل عاملی متغیر نوسانات قامتی در گروه ماهر

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| عامل­ها | F | P.value | Eta |
| نوع پرش | 28/3 | 094/0 | 69/0 |
| جهت نوسانات | 05/2 | 186/0 | 18/0 |
| نوع پرش\* جهت | 34/1 | 355/0 | 47/0 |

جدول 4-16. نتایج مقایسه جفتی آزمون­ها در متغیر نوسانات قامتی در گروه مبتدی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نوع پرش  | پرش کوتاه | پرش از راست | پرش بلند از راست | پرش از چپ | پرش بلند از چپ |
| پرش وسط |  | 476/0 | 299/0 | 406/0 | 166/0 |
| پرش از راست | 476/0 |  | 00/1 | 00/1 | 00/1 |
| پرش بلند از راست | 299/0 | 00/1 |  | 00/1 | 00/1 |
| پرش از چپ | 406/0 | 00/1 | 00/1 |  | 00/1 |
| پرش بلند از چپ | 166/0 | 00/1 | 00/1 | 00/1 |  |



شکل 4-11. تعامل بین دو عامل نوع پرش و جهت در متغیر سرعت حرکت CoP در گروه والیبالیست­های حرفه­ای

## بحث

**تحلیل و تفسیر فرضیه اول: اثر نوع پرش بر نوسانات CoP (AP و ML)**

بر اساس فرضیه اول، انتظار می‌رفت نوع پرش در دفاع روی تور بر میزان نوسانات قامت (حرکات مرکز فشار) در جهت قدامی-خلفی و جانبی تأثیر داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده تا حدی این فرضیه را تایید کرد، به این صورت که در بازیکنان ماهر نوع پرش عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان نوسانات CoP بود اما در بازیکنان مبتدی چنین اثری مشاهده نشد. عدم تفاوت معنی‌دار نوسانات CoP بین انواع پرش در والیبالیست‌های مبتدی نشان می‌دهد که این بازیکنان احتمالاً در همه شرایط فرود، سطح تعادل نسبتاً مشابهی داشتند و شاید نتوانستند راهبردهای پاسچرالی خود را متناسب با تغییر نوع پرش تطبیق دهند. در مقابل، وجود تفاوت معنی‌دار در بازیکنان ماهر حاکی از آن است که آنان بسته به پیچیدگی و جهت پرش، از راهبردهای کنترلی متفاوتی بهره می‌گیرند. به طور مشخص، در گروه ماهر دیده شد که پرش‌های بلند از راست و چپ منجر به نوسانات CoP کمتری شدند (خصوصاً در مقایسه با پرش از چپ کوتاه). این یافته را می‌توان چنین تعبیر کرد که بازیکنان ماهر در پرش‌های بلند جانبی (که معمولاً شامل گام برداشتن عرضی قبل از پرش است) احتمالا به دلیل آمادگی بهتر و پیش‌بینی نیروهای فرود، فرود پایدارتر و با نوسان قامتی کمتر داشته‌اند. این تطبیق‌پذیری بازیکنان ماهر با شرایط مختلف پرش، نشان‌دهنده توسعه مهارت‌های تعادل پویا در طی سال‌ها تمرین است ([75](#_ENREF_75)). در ادبیات بیومکانیک ورزشی نیز تأکید شده که بازیکنان حرفه‌ای تغییرات پاسچر سریعی متناسب با شرایط مختلف بازی اعمال می‌کنند و توانایی بازیابی سریع تعادل پس از فرود برای موفقیت آنها حیاتی است ([13](#_ENREF_13)).

از سوی دیگر، یافته جالب در فرضیه اول آن بود که **میزان نوسانات قامت در گروه ماهر بالاتر از مبتدی‌ها بود** و در دو وضعیت به طور معناداری بیشتر بود (مثلاً در فرود پس از پرش وسط در جهت ML). این نتیجه در نگاه اول برخلاف انتظار به نظر می‌رسد، چرا که معمولاً تصور می‌شود ورزشکاران ماهرتر تعادل بهتری داشته و نوسانات کمتری نشان می‌دهند. با این حال، باید توجه داشت که **شدت و ویژگی فرود** در دو گروه می‌تواند متفاوت باشد. والیبالیست‌های ماهر به دلیل پرش‌های بلندتر و فرود از ارتفاع بیشتر، نیروی فرود و تکانه بزرگ‌تری را تجربه می‌کنند که می‌تواند به نوسان CoP بزرگ‌تر بیانجامد. در مقابل، والیبالیست‌های مبتدی احتمالاً پرش کوتاه‌تری داشته و هنگام فرود محافظه‌کارانه‌تر عمل می‌کنند و در نتیجه دامنه نوسانات قامت آنها کمتر مشاهده می‌شود. اما آیا نوسان کمتر لزوماً به معنای تعادل بهتر است؟ برخی شواهد نشان می‌دهد که ورزشکاران حرفه‌ای در شرایط ایستا نیز الگوی کنترل قامت متمایزی دارند. برای مثال، والنتینا و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بازیکنان والیبال نخبه در آزمون تعادل ایستا دارای دامنه نوسان قامت کمتری نسبت به افراد غیرورزشکار بودند ([76](#_ENREF_76)). بنابراین، در شرایط ایستا ورزشکاران متعادل‌ترند. اما در یک وظیفه پویای دشوار مانند فرود از دفاع روی تور، عوامل دیگری نیز دخیل‌اند. یکی از این عوامل می‌تواند راهبرد کنترلی و تمرکز توجه باشد. بر اساس فرضیه عمل محدودکننده[[3]](#footnote-3)، تلاش آگاهانه برای کاهش نوسانات بدن می‌تواند منجر به سفتی بیش از حد عضلانی و کاهش کارایی مکانیسم‌های خودکار تعادل شود ([75](#_ENREF_75)). افراد ماهر تمایل دارند به جای تمرکز مستقیم بر کنترل تعادل، بر اهداف بیرونی (مانند توپ یا موقعیت حریف) متمرکز شوند که این امر به عملکرد خودکار و مؤثر سیستم تعادلی می‌انجامد ([77](#_ENREF_77)). در نتیجه، ممکن است بازیکن ماهر اجازه دهد بدنش اندکی نوسان طبیعی بیشتری پس از فرود داشته باشد تا سریع‌تر تعادل را بازیابد، در حالی که بازیکن مبتدی با تمرکز درونی بر حفظ تعادل، بدن را خشک و بی‌حرکت نگاه می‌دارد. به بیان دیگر، نوسان کمتر مبتدیان لزوماً به معنای تعادل بهتر نیست، بلکه می‌تواند نشان‌دهنده استراتژی محافظه‌کارانه و خشکی بیش از حد باشد که بالقوه کارایی کمتری دارد ([75](#_ENREF_75)). پژوهشی روی بندبازان خبره نیز نشان داده که افراد بسیار ماهر ممکن است الگوی نوسانی متفاوت (حتی گاهاً بزرگ‌تر) داشته باشند که ناشی از خوگیری سیستم عصبی-عضلانی آنان به شرایط خاص است ([78](#_ENREF_78)).

عامل مهم دیگر در بحث فرضیه اول، تفاوت نوسانات CoP در جهت‌های مختلف است. نتایج ما در تمامی شرایط (جز یک مورد در بازیکنان ماهر) نشان داد که میزان نوسان در جهت جانبی (ML) به طور معناداری بیشتر از جهت قدامی-خلفی (AP) بود. این یافته بیانگر آن است که حفظ تعادل در برابر تکان‌های جانبی چالش‌برانگیزتر از جهت پیشین-پسین است. در هنگام فرود از پرش، هر دو پا به صورت همزمان فرود می‌آیند و قاعده حمایت در امتداد عرضی افزایش می‌یابد، با این وجود کنترل پاسچر در جهت ML همچنان دشوارتر است. مطالعات بیومکانیکی تأیید می‌کنند که کنترل پاسچر در صفحه عرضی (جانبی) به دلیل محدودیت‌های آناتومیکی و مشارکت مفاصل ران و تنه، سخت‌تر صورت می‌گیرد و اغلب دامنه نوسان یا زمان لازم برای تثبیت در این جهت بیشتر است. به عنوان نمونه، در یک مطالعه مروری سیستماتیک مشخص شد پای برتر (غالب) فرد می‌تواند عملکرد تعادلی بهتری ارائه دهد و در مقابل پای غیرغالب ناپایدارتر است ([79](#_ENREF_79)). این موضوع تلویحاً به چالش کنترل جانبی اشاره دارد، چرا که عدم تقارن طرفی می‌تواند موجب نوسان بیشتر به یک سمت شود. همچنین تحقیقات روی افراد با آسیب مزمن مچ پا (که اغلب تعادل جانبی آنها مختل است) نشان داده‌اند این افراد زمان طولانی‌تری برای بازیابی تعادل در جهت ML نیاز دارند ([80](#_ENREF_80)). واتبل و همکاران (2022)گزارش کردند در افرادی که مچ پای ناپایدار دارند، زمان تثبیت تعادل در جهت ML به طور معناداری طولانی‌تر از افراد سالم است ([80](#_ENREF_80)). تمامی این شواهد پشتیبان این یافته ماست که حرکات CoP در جهت جانبی ذاتاً بیش از جهت قدامی-خلفی نوسان دارد و به توجه ویژه در تحلیل‌های تعادلی نیازمند است.

با نگاهی جامع به فرضیه اول، می‌توان گفت نوع پرش در شرایط پویا بر تعادل تأثیرگذار است، اما این اثر در افراد ماهر و مبتدی متفاوت بروز می‌کند. افراد ماهر بسته به جهت و نوع پرش، قادر به تنظیم الگوی فرود و پاسخ‌های پاسچرال خود هستند و این منجر به تفاوت در میزان نوسانات می‌شود. در مقابل، افراد مبتدی احتمالاً فاقد آن درجه از تطابق‌پذیری‌اند و فارغ از نوع پرش، الگوی ثابتی را دنبال می‌کنند که شاید یک راهبرد محافظه‌کارانه برای حفظ تعادل باشد. یافته‌های ما با اصول کلی بیومکانیکی سازگار است؛ چرا که مطالعات نشان داده‌اند نیازهای مکانیکی فرود به جهت حرکت و وضعیت بدن وابسته است ([81](#_ENREF_81)). به عبارت دیگر، فرود قائم در جای خود با فرودی که همراه حرکت جانبی است از نظر بارهای وارده و چالش تعادلی یکسان نیست ([13](#_ENREF_13)). مک‌نیت-گری و همکاران (2001) تاکید کرده‌اند که تقاضای مکانیکی فرود و کنترل چندمفصلی آن به جهت حرکت بخش‌های بدن نسبت به نیروی عکس‌العمل زمین وابسته است ([81](#_ENREF_81)). بنابراین مشاهده تفاوت در نوسانات پاسچرال میان پرش‌های مختلف (خصوصاً در ورزشکاران ماهر که پتانسیل نشان دادن آن را دارند) قابل انتظار و در راستای دانش موجود است. در مجموع، فرضیه اول تا حدی تایید می‌شود؛ یعنی نوع پرش می‌تواند بر نوسانات CoP تأثیر بگذارد، هرچند این تأثیر به سطح مهارت فرد و راهبرد کنترلی وی بستگی دارد. این نتایج اهمیت آموزش و تمرین اختصاصی برای بهبود تعادل در انواع مختلف پرش‌های دفاعی را برجسته می‌کند که در بخش پیشنهادهای کاربردی به آن خواهیم پرداخت.

**تحلیل و تفسیر فرضیه دوم: اثر نوع پرش بر RMS حرکات CoP (AP و ML)**

فرضیه دوم پژوهش به بررسی تأثیر نوع پرش بر مقدار RMS (ریشه میانگین مربعات) نوسانات CoP در دو جهت اختصاص داشت. RMS شاخصی از پراکندگی و شدت نوسانات است و مقادیر بالاتر آن نشان‌دهنده بی‌ثباتی و تغییرات گسترده‌تر مرکز فشار می‌باشد ([82](#_ENREF_82)). نتایج ما نشان داد که نوع پرش به طور معناداری RMS حرکات CoP را در هر دو گروه مبتدی و ماهر تحت تأثیر قرار می‌دهد، اگرچه الگوی این تأثیر میان دو گروه تفاوت‌هایی داشت.

در گروه والیبالیست‌های مبتدی، نوع پرش اثر معنی‌داری بر RMS داشت به طوری که کمترین RMS در پرش «از راست» مشاهده شد و این مقدار به طور معناداری کمتر از RMS سایر پرش‌ها (وسط، بلند از راست، از چپ، بلند از چپ) بود. به بیان دیگر، برای بازیکنان کم‌تجربه پایدارترین حالت تعادلی پس از فرود مربوط به پرشی بود که از سمت راست انجام شده است. از سوی مقابل، بالاترین مقادیر RMS در پرش‌های دیگر به‌ویژه پرش از چپ دیده شد (هرچند از نظر آماری اختلاف برخی موارد ممکن است معنی‌دار نبوده باشد، روند کلی چنین بود که پرش به چپ ناپایدارترین وضعیت را ایجاد کرد). در گروه والیبالیست‌های ماهر نیز اثر نوع پرش بر RMS معنی‌دار به‌دست آمد، اما الگوی تفاوت‌ها اندکی متفاوت بود. در این گروه نیز پرش «از راست» یکی از پایدارترین حالات را ایجاد کرد و RMS آن به طور معناداری کمتر از RMS در پرش‌های دشوارتر (پرش کوتاه وسط و پرش بلند از چپ) بود. جالب توجه اینکه در گروه ماهر، پرش «بلند از راست» نیز RMS نسبتاً پایینی داشت (هرچند اختلاف آن با سایر پرش‌ها به جز پرش از چپ ممکن است در حد معنی‌داری کامل نبوده باشد). در مجموع هر دو گروه نشان دادند که پرش از سمت راست (چه کوتاه و چه بلند) با کمترین نوسان همراه است، در حالی که پرش‌های سمت چپ و تا حدی پرش مستقیم وسط، نوسانات بیشتری پس از فرود ایجاد می‌کنند.

یکی از دلایل مهم این یافته را می‌توان به عامل تقارن و اندام غالب نسبت داد. اغلب بازیکنان والیبال راست‌دست هستند و پای راست آنها اندام برتر محسوب می‌شود. در دفاع روی تور، پرش به سمت راست معمولاً بدین معناست که بازیکن یک گام جانبی به سمت راست با پای راست برمی‌دارد و سپس پرش می‌کند (و فرود می‌آید)؛ در این حالت، اتکا اولیه و کنترل تعادل تا حد زیادی بر عهده پای غالب (راست) است. در مقابل، پرش به سمت چپ مستلزم حرکت به سمت مخالف پای غالب است و ممکن است بازیکن هنگام فرود برای لحظاتی بیشتر به پای غیرغالب (چپ) تکیه کند. این می‌تواند توضیح‌دهد که چرا در هر دو گروه، فرودهایی که شامل حرکت به راست (سمت مسلط بدن) بودند ثبات بیشتری داشتند (RMS کمتر)، ولی حرکت به چپ چالش تعادلی بیشتری ایجاد کرده است. بررسی‌های پیشین نیز نقش پای غالب در تعادل را تایید کرده‌اند؛ به طور مثال، در یک فراتحلیل توسط شوردره و همکاران (2021) مشخص شد که پای غالب معمولاً عملکرد بهتری در حفظ تعادل دارد ([79](#_ENREF_79)). بنابراین عدم تقارن عملکرد اندام‌ها می‌تواند عامل مهمی در تفاوت RMS بین پرش راست و چپ باشد. نتیجه مطالعه ما نیز با این یافته هم‌سو است و نشان می‌دهد **چیرگی یک سمت بدن** در ورزشکار می‌تواند بر کیفیت تعادل پس از فرود اثرگذار باشد، به‌طوری‌که حرکت به سمت جهت غیرغالب (چپ) موجب افزایش نوسانات CoP می‌گردد.

از منظر مقایسه با دیگر تحقیقات، مطالعات کمی به‌طور مستقیم RMS حرکات CoP را در فرودهای ورزشی مختلف گزارش کرده‌اند؛ با این حال، یافته‌های ما را می‌توان با نتایج پژوهش‌هایی که به تعادل دینامیک و شاخص‌های ثبات در حرکات مختلف پرداخته‌اند مقایسه کرد. برای مثال، گریبل و رابینسون (2010) در تحقیقی که به مقایسه فرودهای دینامیک در افراد دارای ناپایداری مزمن مچ پا (CAI) و افراد سالم پرداخته بود، نشان دادند که میان متغیرهای زمانی‌-مکانی فرود تفاوت معناداری وجود دارد و افراد مبتلا به ناپایداری کنترل ضعیف‌تری خصوصاً در صفحه جانبی دارند. هرچند در آن مطالعه مستقیماً RMS گزارش نشد، اما می‌توان استنباط کرد که چنین تفاوت‌هایی در شاخص‌های نوسان (مثل واریانس یا RMS) نیز بروز می‌کند ([13](#_ENREF_13)). همچنین مطالعه‌ای توسط زک و همکاران (2015) به بررسی ثبات پاسچرال پس از فرود با کفش‌های مختلف (مینیمالیستی، معمولی و بدون کفش) پرداخت. آنها دریافتند شرایط کفش بر تعادل پساجهش تأثیرگذار است ([83](#_ENREF_83))؛ مثلاً فرود بدون کفش (که چالش تعادلی بیشتری دارد) موجب افزایش نوسانات و دشواری بیشتر در کنترل پاسچر شد. این یافته غیرمستقیم تأیید می‌کند که هر چه شرایط فرود دشوارتر یا غیرمعمول‌تر باشد (چه به علت وضعیت کف پا و چه به علت جهت حرکت)، میزان نوسانات ثبت‌شده (از جمله RMS) افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر نیز پرش‌هایی که از لحاظ حرکتی پیچیده‌تر بودند (مانند پرش به چپ که نیاز به cross-step و هماهنگی بیشتری برای فرد راست‌دست دارد) RMS بالاتری داشتند.

همچنین نتایج بین گروهی ما نشان داد که در چندین حالت، بازیکنان ماهر RMS کمتری نسبت به مبتدی‌ها داشتند (مثلاً در فرود پرش وسط و پرش‌های بلند جانبی در جهت AP). این امر بیانگر آن است که ورزشکاران حرفه‌ای احتمالاً به دلیل تکنیک فرود بهتر (مانند خم شدن بیشتر زانوها، جذب نیرو توسط اندام تحتانی و حفظ مرکز ثقل در محدوده پایدار) توانسته‌اند نوسانات را کاهش دهند. این نکته با نتایج برخی مطالعات بیومکانیکی دیگر هم‌خوانی دارد. برای مثال، ظاهری و همکاران (2022) در یک مطالعه کینماتیکی-کینتیکی روی همین مهارت دفاع روی تور گزارش کردند که افراد ماهر در مقایسه با مبتدی‌ها الگوی فرودی ایمن‌تر و پایدارتر دارند؛ از جمله زوایای مفصلی مناسب‌تر و نرخ بارگذاری پایین‌تر که می‌تواند به ثبات بیشتر کمک کند ([84](#_ENREF_84)). هرچند مطالعه ظاهری و همکاران به طور مستقیم CoP را اندازه‌گیری نکرده است، می‌توان استنباط کرد که بهبود مکانیک فرود (مثلاً خم شدن نرم‌تر زانو و مچ) به کاهش نوسانات CoP نیز منجر خواهد شد. بنابراین مشاهده RMS کمتر در بازیکنان ماهر ما در برخی شرایط، با شواهد پیشین مبنی بر کنترل حرکتی بهتر این افراد سازگار است.

نکته قابل توجه دیگر مشابه فرضیه اول، بزرگ‌تر بودن RMS در جهت ML نسبت به AP در تمامی پرش‌ها بود. این بدان معناست که دامنه تغییرات CoP از میانه صفحه حمایت در جهت جانبی بیشتر است. این یافته همان‌طور که پیش‌تر نیز بحث شد، نشان می‌دهد چالش حفظ ثبات در برابر نیروهای جانبی بیشتر است. RMS به عنوان معیاری وابسته به انحرافات CoP تأیید می‌کند که نوسانات جانبی در هر پرش از نوسانات قدامی-خلفی فراتر می‌روند. از دید کاربردی، این موضوع هشدار می‌دهد که کنترل جانبی باید کانون توجه در تمرینات تعادلی قرار گیرد؛ چرا که بیشترین نوسان و به تبع آن احتمال برهم خوردن تعادل از این محور منتج می‌شود.

جمع‌بندی تفسیر فرضیه دوم آن است که **ن**وع پرش به شکل معناداری بر شدت نوسانات (RMS) پس از فرود اثر دارد. پرش‌هایی که در راستای پای غالب ورزشکار انجام می‌شوند (مانند پرش از راست برای فرد راست‌دست) با ثبات بیشتری همراه‌اند، در حالی که حرکات مخالف الگوی غالب بدن، فرد را در معرض نوسانات بیشتری قرار می‌دهند. این اثر در هر دو سطح مهارتی مشاهده شد، گرچه ورزشکاران ماهر توانستند در مجموع RMS کمتری را نسبت به مبتدی‌ها حفظ کنند. این نتایج همسو با مبانی علمی در زمینه عدم تقارن عملکردی و تأثیر آن بر تعادل است و بار دیگر اهمیت تقویت تعادل دینامیک را در جهات مختلف برای ورزشکاران مطرح می‌کند.

**تحلیل و تفسیر فرضیه سوم: اثر نوع پرش بر سرعت حرکات CoP (AP و ML)**

فرضیه سوم به بررسی تأثیر نوع پرش بر سرعت حرکت مرکز فشار (میانگین سرعت جابجایی CoP ) در دو جهت قدامی-خلفی و جانبی می‌پرداخت. سرعت حرکت CoP شاخصی از میزان سرعت نوسان بدن و تلاش سیستم عصبی-عضلانی برای بازیابی تعادل است ([82](#_ENREF_82)). افزایش سرعت نوسان CoP معمولاً به معنای تلاش شدیدتر برای اصلاح وضعیت و ناپایداری بیشتر تلقی می‌شود ([41](#_ENREF_41)). نتایج این پژوهش نشان داد که برخلاف فرضیه، نوع پرش اثر معناداری بر سرعت حرکات CoP نداشت؛ به بیان دیگر، میانگین سرعت جابجایی‌های CoP پس از فرود در انواع پرش‌های مختلف تقریباً ثابت بود و تفاوت آشکاری بین پرش‌ها مشاهده نشد. این عدم تفاوت هم در گروه مبتدی و هم ماهر صادق بود. علاوه بر آن، بین دو گروه نیز از نظر سرعت حرکات CoP اختلاف معنی‌داری یافت نشد. بدین ترتیب می‌توان گفت فرضیه سوم رد شد زیرا نوع پرش موجب تغییر قابل ملاحظه‌ای در سرعت نوسانات پاسچرال پس از فرود نگردید.

توجیه این یافته را می‌توان از چند منظر مورد بررسی قرار داد. نخست آن‌که شاید سرعت میانگین CoP یک شاخص کلی‌تر از ثبات باشد که کمتر تحت تأثیر تغییرات شرایط حرکتی قرار می‌گیرد مگر اینکه این تغییرات بسیار شدید باشند. در واقع، ممکن است ورزشکار چه مبتدی و چه ماهر، پس از هر نوع پرشی طی حدود ۲-۳ ثانیه پس از فرود به یک سطح پایدار نسبی برسد و سرعت حرکت CoP خود را به مقدار پایه برساند. بنابراین میانگین سرعت کلی ثبت‌شده تفاوت چندانی نشان ندهد. این احتمال با تحقیقات مرتبط قابل تطبیق است؛ برای مثال در مطالعات زمان رسیدن به تثبیت تعادل (TTS)پس از پرش، گاهی مشاهده می‌شود که اگرچه دامنه نوسانات بین شرایط فرق دارد، اما زمان کلی لازم برای بازیابی تعادل چندان متفاوت نیست. در پژوهش ما نیز می‌توان اینگونه استنباط کرد که آزمودنی‌ها مستقل از جهت پرش، ظرف مدت کوتاهی پس از فرود توانستند سرعت نوسانات خود را مهار کرده و به وضعیت تقریباً ساکن برسند، لذا تفاوت معنی‌داری در متوسط سرعت ثبت‌شده ایجاد نشد.

دومین نکته، راهبردهای کنترلی مشابه بین شرایط مختلف است. ممکن است افراد برای حفظ تعادل خود پس از هر فرود، از یک الگوی نسبتاً ثابتی استفاده کنند؛ مثلاً زانوها را خم کرده و مرکز ثقل را پایین بیاورند، گام‌های کوتاه تعدیلی بردارند یا از حرکات بازو جهت بالانس بهره بگیرند. این مکانیسم‌های جبرانی در همه انواع پرش می‌تواند با شدت کم و بیش یکسان به کار گرفته شود و در نهایت نرخ کاهش نوسانات CoP (که در سرعت منعکس می‌شود) مشابه باشد. بدین معنا که اگرچه دامنه نوسان (سوی) ممکن است فرق کند، اما سرعت آرام شدن آن ثابت باقی بماند. یافته ما تا حدودی با نتایج برخی مطالعات مداخله‌ای نیز همخوانی دارد. برای مثال، ویکستروم و همکاران (2006)که به بررسی تأثیر بستن مچ‌بند در افراد دارای مچ پای ناپایدار پرداختند، مشاهده کردند که استفاده از بریس تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های پایداری دینامیک (که ترکیبی از سرعت و نوسان در جهات مختلف است) ایجاد نکرده است ([85](#_ENREF_85)). این بدان معنی است که حتی با تغییر یک عامل مداخله‌ای (مثل بریس که انتظار می‌رفت تعادل را بهبود بخشد)، سرعت و الگوی کلی بازیابی تعادل ممکن است ثابت بماند. هرچند شرایط مطالعه مذکور با تحقیق ما متفاوت است، اما وجه مشترک این است که تغییرات معین لزوماً به تغییر در سرعت نوسانات منجر نمی‌شوند.

یکی از معدود اختلافات مشاهده‌شده در سرعت، مربوط به جهت حرکت CoP بود. در گروه مبتدی، اثر جهت تا حدودی معنی‌دار شد که نشان می‌دهد شاید سرعت نوسانات در جهت ML بیشتر از جهت AP بوده باشد. هرچند این تفاوت چندان قوی نبود، اما با توجه به یافته‌های دو فرضیه قبلی و نیز مبانی نظری می‌توان انتظار داشت که سرعت حرکت CoP نیز در صفحه جانبی اندکی بیشتر باشد؛ زیرا همان‌طور که بحث شد کنترل تعادل در جهت جانبی مشکل‌تر است و بدن ممکن است با سرعت بالاتری در این جهت نوسان کند تا پایداری را مجدداً برقرار نماید. به طور کلی اما عدم وجود تفاوت چشمگیر در سرعت CoP میان شرایط مختلف نشان می‌دهد که سیستم کنترلی افراد شرکت‌کننده قادر بوده است نرخ بازیابی تعادل را در همه انواع پرش تقریباً در یک سطح نگه دارد. به بیان دیگر، اگرچه شدت نوسانات بسته به نوع پرش تغییر کرد (فرضیه‌های اول و دوم)، سرعت فروکش کردن این نوسانات تحت کنترل باقی ماند.

از منظر مقایسه با پیشینه پژوهشی، مطالعه مستقیمی که سرعت CoP را در تکالیف مختلف پرش-فرود مقایسه کند یافت نشد. با این حال، شواهد متعددی وجود دارد که میانگین سرعت CoP یک شاخص پایدار در ارزیابی تعادل است. برای مثال در مطالعات مربوط به تعادل ایستا، سرعت متوسط CoP یکی از قابل اعتمادترین متغیرها برای افتراق افراد سالم از مبتلایان (مثلاً سالمندان در معرض سقوط یا بیماران نورولوژیک) گزارش شده است ([41](#_ENREF_41), [82](#_ENREF_82), [86](#_ENREF_86)). این شاخص در شرایط دینامیک نیز اهمیت دارد اما شاید حساسیت کمتری نسبت به عوامل مداخله‌گر ظریف داشته باشد. به هر روی، یافته ما در مورد فرضیه سوم نشان می‌دهد که اگر سطح مهارت یا شرایط محیطی به طور عمده تغییر نکند، نوع پرش به تنهایی موجب تغییر مکانیکی پایه‌ای در سرعت بازیابی تعادل نمی‌شود. این امر می‌تواند به دلیل آن باشد که همه آزمودنی‌ها (چه مبتدی و چه ماهر) برای حفظ ایستایی بعد از فرود به شدت مجبور به واکنش هستند و این واکنش سریع را تا زمان توقف نوسانات ادامه می‌دهند، لذا نرخ کلی این فرآیند میان شرایط یکسان باقی می‌ماند.

در جمع‌بندی بحث فرضیه سوم می‌توان اظهار داشت که برخلاف انتظار اولیه، سرعت حرکات مرکز فشار پس از فرود تحت تأثیر نوع پرش قرار نگرفت. این نتیجه هرچند عدم تأیید فرضیه را نشان می‌دهد، ولی حاکی از نکته مثبتی است: ورزشکاران توانسته‌اند صرف نظر از نوع پرش، آهنگ بازیابی تعادل خود را حفظ کنند. می‌توان نتیجه گرفت که شاید دامنه نوسانات معیار حساس‌تری نسبت به سرعت نوسانات برای سنجش تأثیر نوع حرکت بر تعادل باشد. از منظر عملی نیز، تمرکز بر کاهش دامنه نوسان (از طریق بهبود تکنیک فرود و قدرت عضلانی) احتمالاً راهبرد مؤثرتری نسبت به تلاش برای تغییر سرعت واکنش پاسچرال است، چرا که سرعت بازیابی تا حد زیادی توسط سیستم عصبی به طور خودکار تنظیم می‌شود.

در مجموع، نتایج این پژوهش با بخشی از تحقیقات پیشین همسو و با بخشی دیگر ناهمسو بود که در ادامه به صورت یکپارچه مرور می‌شود. همسویی نتایج ما عمدتاً با مطالعاتی است که تأثیر ویژگی‌های مکانیکی حرکت بر کنترل پاسچر را تأیید کرده‌اند. برای مثال، نتایج فرضیه اول و دوم ما نشان داد نوع حرکت (جهت و میزان گام) بر نوسانات و تعادل فرد اثرگذار است. این یافته کاملاً مورد حمایت نتایج مک نی گری (2001) قرار دارد که نشان داد الگوی فرود و نیروهای وارد بر بدن وابستگی زیادی به جهت و نحوه حرکت جهشی فرد دارد ([81](#_ENREF_81)). به همین قیاس، در پژوهش حاضر پرش‌های جانبی (خصوصاً به سمت چپ) الگوی متفاوتی از نوسان CoP نسبت به پرش درجا (وسط) داشت که موید تاثیر جهت حرکت بر بیومکانیک فرود است. همچنین یافته ما مبنی بر سخت‌تر بودن کنترل تعادل در جهت ML با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها منطبق است؛ از جمله مطالعه ویکستروم و همکاران (2006) که تاکید داشت افراد در مواجهه با ناپایداری جانبی (همچون مچ پای ضعیف) دچار افت قابل توجه‌تری در شاخص‌های ثبات می‌شوند ([85](#_ENREF_85)). افزون بر این، آگوستینی و همکاران (2013) نشان دادند ورزشکاران حرفه‌ای (والیبال) در شرایط ایستا ثبات بیشتری دارند و نوسانات قامت کمتری نسبت به گروه کنترل تجربه ([76](#_ENREF_76)) که به طور ضمنی بیانگر توسعه بهتر سیستم کنترلی تعادل در آنهاست. این موضوع در تحقیق ما نیز بازتاب داشت؛ چرا که در اکثر شرایط مشاهده شد گروه ماهر حداقل به اندازه مبتدی‌ها ثبات داشتند و حتی در برخی شاخص‌ها (مثل RMS در چند نوع پرش) عملکرد بهتری ارائه کردند.

از سوی دیگر، برخی ناهمخوانی‌ها میان نتایج ما و پژوهش‌های گذشته قابل ذکر است. برای مثال، انتظار می‌رفت والیبالیست‌های ماهر در همه شرایط نوسانات کمتری داشته باشند (مشابه یافته آگوستینی و همکاران، 2013 در حالت ایستا)، اما در مطالعه ما مواردی بود که ورزشکاران ماهر نوسان بیشتری نشان دادند. این می‌تواند به ماهیت پویا و پیچیده آزمون ما (فرود پس از دفاع روی تور) مربوط باشد که شرایطی متفاوت از تست تعادل ایستا است. همچنین پژوهش‌هایی که تعادل را در قالب زمان رسیدن به ثبات سنجیده‌اند ([87](#_ENREF_87), [88](#_ENREF_88))، گاهاً اختلافاتی را بین شرایط مختلف گزارش کرده‌اند؛ مثلا برخی محققان یافتند که با افزایش سختی تکلیف، مدت زمان بی‌ثباتی افزایش می‌یابد. در مطالعه ما سرعت بازیابی (که مرتبط با زمان ثبات است) بین شرایط تغییری نکرد. این شاید به دلیل قدرت تفکیک پایین این شاخص یا گستره زمانی کوتاه مشاهده باشد. بنابراین، نتیجه فرضیه سوم ما (عدم تاثیر نوع پرش بر سرعت نوسان) را می‌توان تا حدی متفاوت با برخی گزارش‌های قبلی دانست که ادعا کرده‌اند سختی تکلیف می‌تواند کل زمان بازیابی تعادل را تحت تاثیر قرار دهد. باید توجه داشت که اغلب آن مطالعات شرایط بسیار متمایزتری را مقایسه کرده‌اند (مثلاً فرود تک‌پا در برابر دوپا یا فرود از ارتفاع خیلی بلند در برابر کوتاه) ([89-92](#_ENREF_89))؛ در حالی که در پژوهش حاضر هر پنج نوع پرش از نظر ماهیت کلی (دوپا فرود آمدن از ارتفاع تقریباً یکسان) مشابهت‌های زیادی داشتند و این ممکن است دلیل عدم مشاهده اختلاف در سرعت باشد.

نکته دیگر، مقایسه تفاوت‌های فردی بر اساس مهارت در مطالعات گذشته است. برخی تحقیقات، حضور تمرینات تعادلی را عامل تفاوت عملکرد افراد می‌دانند. برای مثال در یک مطالعه، تمرینات تعادل‌محور موجب کاهش نوسانات و بهبود ثبات در ورزشکاران شده است ([75](#_ENREF_75)). نتایج ما نیز نشان داد که گروه ماهر (با سابقه تمرینی بیشتر) در شاخص RMS به طور معناداری عملکرد بهتری از خود نشان دادند که این می‌تواند حاصل سال‌ها تمرین و تقویت دستگاه تعادل باشد. به طور کلی، می‌توان بیان داشت که نتایج این پژوهش از نظریه‌های تطابق‌پذیری پاسچرال و تأثیر تمرین بر کنترل تعادل حمایت می‌کند و به‌ویژه بر اهمیت درنظرگیری جهت و نوع حرکت در ارزیابی تعادل ورزشکاران تاکید دارد ([93](#_ENREF_93), [94](#_ENREF_94)).

## 5-3 نتیجه­گیری نهایی

پژوهش حاضر با بررسی تأثیر نوع پرش دفاع روی تور بر شاخص‌های تعادلی مرکز فشار پا (CoP) در والیبالیست‌های ماهر و مبتدی، به نتایج ارزنده‌ای دست یافت. مهم‌ترین یافته‌ها نشان داد که نوع پرش بیشتر بر میزان نوسانات و پراکندگی CoP اثرگذار است تا بر سرعت تعدیل آن. پرش‌های جهت راست (هم‌سوی پای غالب در بیشتر افراد) پایدارترین فرودها را رقم زدند و با کمترین نوسان CoP همراه بودند، در حالی که پرش‌های جهت چپ ناپایدارترین شرایط را ایجاد کردند. والیبالیست‌های ماهر توانستند بسته به نوع پرش، الگوی تعادل خود را تطبیق دهند و در برخی موارد نوسانات کمتری نسبت به مبتدی‌ها نشان دادند، هرچند میزان کلی نوسان قامت آنها به دلیل شدت پرش‌ها کمی بیشتر بود. از سوی دیگر، سرعت بازیابی تعادل پس از فرود در انواع پرش تقریباً یکسان باقی ماند که نشان‌دهنده کنترل موثر سیستم تعادلی در همه شرایط است. این نتایج ضمن پشتیبانی از نظریه‌های موجود در بیومکانیک ورزشی درباره تأثیر جهت حرکت و مهارت بر تعادل، بر اهمیت تمرکز بر تعادل جانبی در برنامه‌های تمرینی تاکید می‌کند. به بیان روشن‌تر، **ت**عادل در صفحه جانبی پاشنه‌آشیل کنترل پاسچر در والیبال است و باید با تمرین و تقویت هدفمند بهبود یابد. با اجرای پیشنهادهای ارائه‌شده – از جمله تمرینات تعادلی ویژه و بهبود تکنیک فرود – می‌توان انتظار داشت میزان نوسانات مضر کاهش یافته و ورزشکار سریع‌تر تعادل خود را بازیابد؛ دستاوردی که نه تنها خطر آسیب‌دیدگی را کمینه می‌کند بلکه اجرای مهارت بعدی (مانند حرکت پس از دفاع) را تسهیل خواهد کرد. در نهایت، پژوهش حاضر دانش موجود را یک گام به جلو برده و نشان داده است که چگونه جزئیات به ظاهر کوچک در نوع پرش می‌تواند تفاوت‌های معناداری در پاسخ تعادلی ورزشکاران ایجاد کند. این یافته‌ها می‌تواند برای مربیان در جهت طراحی تمرینات بهینه و برای پژوهشگران در توسعه تحقیقات آتی در زمینه تعادل ورزشی مفید واقع شود.

1. . Center of Pressure [↑](#footnote-ref-1)
2. . Quasi-experimental [↑](#footnote-ref-2)
3. . Constrained-action hypothesis [↑](#footnote-ref-3)