# آنالیز مؤلفه‌های اصلی متغیرهای کینماتیکی در اجرای شوت روی پای دقیق

نغمه قیدی[۱]، حیدر صادقی[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۸/۱۶  تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۲/۷

## چکیده

**شوت روی پا از کاربردی‌ترین و اساسی‌ترین مهارت‌های فوتسال است. تحقیقات بسیاری به بررسی این مهارت پرداخته‌اند، اما آنالیز ضربات دقیق نسبت به ضربه‌های قدرتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از انجام این تحقیق تعیین مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی شوت روی پای موفق در فوتسال است. در این تحقیق ۱۴ بازیکن نخبه فوتسال (۷ زن و ۷ مرد) به‌عنوان آزمودنی با میانگین به‌ترتیب سن (۱/۷±۲۳) و (۲/۴±۲۳) سال، قد (۴/۷۳±۱۸۲/۲) و (۴/۸۴±۱۶۰/۷) سانتی‌متر، وزن (۴/۰۴±۷۲/۴) و (۴/۳۳±۵۳/۷) کیلوگرم شرکت کردند. بازیکنان پس از نصب نشانگر بر نقاط آناتومیکی پای ضربه، از فاصلهٔ شش متر با یک گام دورخیز توپ را به هدفی که با شعاع یک متر در مرکز دروازه فوتسال معین شده بود، شوت کردند. چهار شوت هر آزمودنی به‌وسیلهٔ دستگاه آنالیز حرکتی سه دوربینه با فرکانس ۵۰ هرتز فیلم‌برداری و ضربهٔ موفق برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد. برای تعیین عوامل اصلی کینماتیکی از بین ۲۸ پارامتر مورد مطالعه، از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۳] استفاده شد. از ۲۸ متغیر مورد بررسی، ۱۰ متغیر در پنج مؤلفه[۴]، ۷۹/۸۰٪ واریانس اطلاعات را در خود جای دادند. در نتیجه، جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در لحظهٔ ضربه به توپ و تاب رو به جلو پای ضربه، سرعت زاویه‌ای زانو و پا در لحظهٔ ضربه به توپ به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی شوت روی پا در بین فوتسالیست‌های نخبه به‌شمار می‌آید.**

**کلیدواژه‌های فارسی:** بیومکانیک، کینماتیک، فوتسال، شوت رو پا، PCA.

---

۱. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه (نویسندهٔ مسئول)

۲. استاد دانشگاه تربیت معلم تهران

3 . Principal Component Analysis (PCA)

4 . Principal Component (PC)

## مقدمه

حرکات آدمی پدیدهٔ بسیار پیچیده‌ای است و شناسایی شاخص‌های ویژه برای بهبود اجرای هر مهارتی ضروری است (۱). شوت روی پا از اساسی‌ترین مهارت‌ها در فوتسال است. این مهارت غالباً در ضربات پنالتی استفاده می‌شود که به اجرای ضربه‌ای سریع و دقیق نیاز است (۲). در حین اجرای شوت، بازیکن تمایل دارد که سرعت و دقت را در انتهای سیستم حلقهٔ باز توسعه دهد (۳) که این امر بدون توجه به چگونگی اجرای بیومکانیکی حرکت بی‌نتیجه می‌ماند.

شوت روی پا در تمام گروه‌های سنی از جوان‌ترین گروه سنی تا حرفه‌ای‌ترین بازیکنان فصل آموزش داده می‌شود (۴، ۵). موفقیت این مهارت به عوامل مختلفی چون فاصله تا هدف، نوع شوت و تکنیک اجرای شوت بستگی دارد که همگی به‌وسیلهٔ آنالیز بیومکانیکی به‌خوبی قابل بررسی‌اند. درک بیومکانیکی شوت به همراه اطلاع از مدل‌های مکانیکی آن برای مربیان برای اصلاح و آموزش مهارت ضروری است (۶، ۷). تحقیقات بیومکانیکی بسیاری به بررسی شوت روی پا پرداخته‌اند (۸- ۱۲)، اما آنالیز ضربات دقیق نسبت به ضربه‌های قدرتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۱۳). به‌علاوه، با وجود اهمیت اجرای این مهارت در رقابت، تحقیقات کمی در مورد جنبه‌های تکنیکی ضربات پنالتی انجام شده است (۱۴). از میان آن‌ها می‌توان به تحقیق اسکور (۲۰۰۹) اشاره کرد که به بررسی اثر زاویهٔ دورخیز بر دقت و کینماتیک ضربه پنالتی پرداخت و به این نتیجه رسید که دورخیز بر دقت ضربه اثر معنی‌داری ندارد، ولی زاویهٔ ۴۵ و ۶۰ درجه را به‌عنوان بهترین زاویه برای اجرای ضربه معرفی کرده است (۱۴). گاکتپ و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیقی به آنالیز کینماتیکی ضربهٔ پنالتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بازیکنان در ضربه به گوشه‌های مختلف دروازه دارای فلکشن مشابه زانو و اکستنشن مچ متفاوت بودند (۱). شان و وسترهوف[1] (۲۰۰۵) با هدف مطالعهٔ حرکت کل بدن در سه بُعد به بررسی ویژگی‌های کینماتیکی کل بدن در شوت روی پا پرداختند. نتایج نشان داد که حرکت مؤثر بالاتنه عاملی کلیدی در ایجاد وضعیت شروع برای انقباض انفجاری عضله در حین ضربه است. این وضعیت به پای ضربه اجازه می‌دهد که حرکت شلاقی قوی‌ای داشته باشد. تغییر به موقع فاصلهٔ بین ران و پای ضربه و شانهٔ سمت غیرضربه عاملی مهم در اندازه‌گیری کیفیت ضربه است (۱۲).

لیز و نولان[2] (۲۰۰۲) با تجزیه و تحلیل دقیق شوت روی پا نشان دادند که افزایش سرعت توپ با افزایش دامنهٔ حرکتی مفصل ران و افزایش سرعت زاویه‌ای مفاصل ران و زانو ارتباط دارد (۶).

---

1. Shan & Westerhoff
2. Lees & Nolan

در تحقیقات قبلی، همچون پلاگنهوف (۱۹۷۱)، لیز و نولان (۱۹۹۸)، آسامی و نولت (۱۹۸۳)، نانومی و همکاران (۲۰۰۶) نسبت سرعت توپ به سرعت پا به عنوان یکی از شاخص‌های موفقیت ضربه بیان شده است (۲، ۴، ۱۵، ۱۶)، اگرچه هنوز هم آنالیز کینماتیکی مناسب و مستندی با جزئیات مربوط به موفقیت ضربه ثبت نشده است (۱).

اسمیت و همکاران نیز در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی، با استفاده از روش آماری تحلیل عاملی روابط بین متغیرها را در اجرای شوت روی پا بررسی کردند (۱۷)، ولی در تحقیق اسمیت و همکاران صرفاً متغیرهای زاویه‌ای بررسی شدند. به‌طور کلی، تحقیقات اندکی از روش آماری تحلیل عاملی یا روش‌های مشابه برای تعیین روابط بین متغیرهای کینماتیکی و تعیین شاخص‌ترین متغیرهای کینماتیکی در شوت استفاده کرده‌اند (۱۸).

شوت روی پا مراحل مختلفی دارد و می‌توان آن را به‌طور خلاصه به سه مرحلهٔ تاب پای ضربه[1]، ضربه به توپ[2] و ادامهٔ حرکت[3] تقسیم کرد. برای ضربه به منطقهٔ مورد نظر باید هر مرحله با موفقیت اجرا شود (۱). در واقع، متغیرهای کینماتیکی در هر لحظه از اجرای ضربه‌ای دقیق می‌توانند بر نتیجه اثرگذار باشند؛ از این رو هدف از انجام این تحقیق تعیین مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی شوت روی پای دقیق در فوتسال با توجه به مراحل اجرای مهارت بود. از آنجا که هیچ تئوری معینی برای متغیرهای کینماتیکی شوت روی پا وجود ندارد، برای تخلیص اطلاعات کینماتیکی از روش اکتشافی تحلیل آماری استفاده شده است.

## روش شناسی پژوهش

۱۴ نفر (۷ مرد و ۷ زن) از بازیکنان نخبهٔ لیگ فوتسال کشور، به‌ترتیب با میانگین سنی (۲۳±۱/۷) و (۲۳±۲/۴) سال، قد (۱۸۲/۲±۴/۷۳) و (۱۶۰/۷±۴/۸۴) سانتی‌متر، وزن (۷۲/۴±۴/۰۴) و (۵۳/۷±۴/۳۳) کیلوگرم و BMI (۲۱/۷۹±۰/۶۷) و (۲۰/۷۷ ±۲/۲۹) کیلوگرم بر مترمربع که همگی راست پا بودند و دست‌کم دو سال سابقهٔ بازی مستمر در لیگ فوتسال داشتند، به‌صورت داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. پای برتر آزمودنی‌ها با آزمون ضربه به توپ ثابت و لی‌لی تعیین شد (۸).

از دستگاه آنالیز حرکتی[4] که دارای سه دوربین با فرکانس‌های ۵۰ هرتز بود، برای نمونه‌برداری

---

1. Follow motion (FM)
2. Ball contact (BC)
3. Follow through (FT)
4. KINEMETRIX 3D Motion Analysis (MIE, UK 1997)

از شوت بازیکنان و فریم کالیبراسیون مخصوص برای هماهنگ کردن (کالیبراسیون) دوربین‌ها استفاده شد. دوربین‌ها در سمت راست افراد با فاصلهٔ متوسط پنج متر از بازیکن و ب طور عمود بر صفحهٔ ساجیتال حرکت، روی کمانی با زاویهٔ ۱۲۰ درجه، به نحوی قرار گرفتند که حداقل دو دوربین بتواند تمام نشانگرهای نصب شده روی بدن آزمودنی را به‌خوبی پوشش دهد.

همهٔ افراد لباس و شورت ورزشی و کفش‌های فوتسال پوشیده بودند و در ابتدا، با نرمش و انجام مهارت شوت به مدت پنج دقیقه خود را گرم کردند. پس از آن، محل‌های نشانگر آناتومیکی با علامت‌گذاری روی پوست مشخص شد و پس از تمیز کردن پوست، نشانگرها در محل‌های خود قرار گرفتند. به‌طورکلی، پنج نشانگر[1] با ابعاد ۱/۵ و ۲/۵ سانتی‌متر در محل‌های آناتومیکی شامل: بالاترین نقطهٔ تاج خاصره، برجستگی بزرگ ران، لقمهٔ خارجی استخوان ران، قوزک خارجی، سطح خارجی سر انتهایی استخوان کف پایی پنجم (۱۹) نصب شد. سپس، از آزمودنی‌ها خواسته شد با یک گام دورخیز و زاویهٔ ۴۵ درجه (بهترین زاویه برای دورخیز (۱۴)) نسبت به محل قرارگیری توپ، با روی پا به توپ ثابت در فاصلهٔ شش متر (نقطهٔ پنالتی اول در فوتسال) تا هدف تعیین شده (دایره‌ای با شعاع یک متر در مرکز دروازهٔ فوتسال) ضربه بزنند.

ضرباتی که درون هدف قرار می‌گرفت، ضربهٔ موفق و ضرباتی که خارج از محدودهٔ تعیین‌شده قرار می‌گرفت، ضربهٔ ناموفق در نظر گرفته می‌شد. در مجموع، از چهار شوت هر آزمودنی فیلم‌برداری شد. برای به‌دست آوردن موقعیت فضایی نشانگرها، تصاویر فیلم‌برداری شده با استفاده از نرم‌افزار آنالیز حرکتی کینماتریکس[2] تجزیه و تحلیل و با روش میانگین متحرک[3] فیلتر شد. متغیرهای کینماتیکی، جابه‌جایی داخلی - خارجی ران و مچ، زاویهٔ مفاصل مچ، زانو، ران و سرعت زاویه‌ای مچ، زانو، ران و ساق پا اندازه‌گیری شد.

شوت روی پا را می‌توان به سه مرحلهٔ تاب رو به جلو پای ضربه، ضربه به توپ و ادامهٔ حرکت تقسیم کرد (۱)؛ بنابراین با توجه به مراحل شوت، با مشاهدهٔ حرکت در سه لحظهٔ شروع حرکت رو به جلو پا[4] اولین فریم محسوس حداکثر فلکشن زانو و شروع حرکت رو به جلو پای ضربه، برخورد پا با توپ [5] اولین فریم محسوس تماس پای آزمودنی با توپ و پایان ادامهٔ حرکت [6] حداکثر حرکت پای ضربه پیش از برگشت به حالت اولیه، منتخبی از اطلاعات کینماتیکی اندام

1 . Reflective markers
2. KINEMETRIX ® 3D Motion Analysis (ver 5.3 MIE, UK 1997)
3. moving average
4 . Follow Motion (FM)
5 . Ball Contact (BC)
6 . Follow Through (FT)

تحتانی ضربهٔ موفق شامل ۲۸ متغیر در تحلیل عاملی وارد شد، برای بررسی کفایت نمونه‌گیری از آزمون KMO[1]، برای بررسی ماتریکس همبستگی از آزمون کرویت بارتلت[2]، برای استخراج عامل‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی[3] و برای دوران اطلاعات از روش واریماکس[4] استفاده شد. روش استخراج عامل‌ها (PCA) روشی آماری برای طبقه‌بندی و شناسایی ساختار اطلاعات است (۲۰)، در این روش، اطلاعات در چند مؤلفه[5] خلاصه می‌شوند. هدف اصلی روش تحلیل عاملی کاهش ابعاد داده‌ها و یافتن مهم‌ترین و مؤثرترین متغیرهاست.

## یافته‌های پژوهش

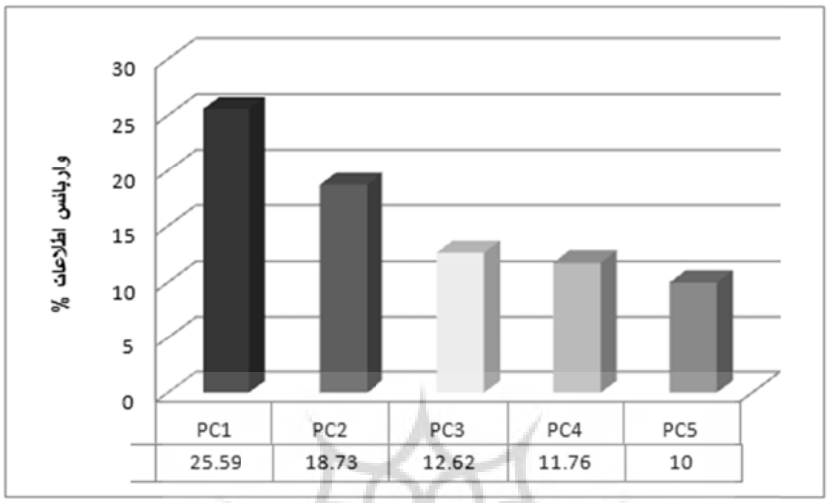
نتایج آزمون KMO و بارتلت نشانگر کفایت نمونه‌گیری در حد مطلوب (KMO=۰/۷۴) و معنی‌داری آزمون بارتلت (۱۱۲۵/۵۳) بود. به‌طورکلی، نتایج این آزمون‌ها بیانگر تناسب تحلیل عاملی و همبستگی درونی بالا بود.

با توجه به نتایج تحلیل عاملی، پنج عامل اولیه حدود ۷۹/۸۰٪ (تقریباً ۸۰٪) واریانس اطلاعات را در خود جای داده‌اند. در نمودار ۱ می‌توان درصد واریانس اطلاعات را به تفکیک هر مؤلفه مشاهده کرد.

در جدول ۱ نتایج ماتریکس مؤلفه‌های چرخش یافتهٔ متغیرهای استخراجی به اختصار و با توجه به مقادیر همبستگی ارائه شده است. در $PC_1$ با ۲۵/۵۹٪ واریانس اطلاعات، جابه‌جایی داخلی– خارجی ران و سرعت زاویه‌ای زانو و پا در لحظه، جابه‌جایی داخلی– خارجی ران در لحظهٔ تاب رو به جلو پای ضربه از مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی شوت روی پا به حساب می‌آیند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Kaiser-Meyer-Olkin
2. Bartlet's test of sphericity
3. Principal Component Analysis (PCA)
4 .Varimax
5. Principal Component (PC)




***نمودار ۱. درصد واریانس اطلاعات استخراج شده در هر مؤلفهٔ اصلی***

***جدول ۱. ماتریس عاملی چرخش یافتهٔ متغیرهای استخراجی***

| متغیرها | ماتریس عاملی چرخش یافته مؤلفه‌ها | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $PC_1$ | $PC_2$ | $PC_3$ | $PC_4$ | $PC_5$ |
| جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در BC | ۰/۹۵ | | | | |
| جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در FM | ۰/۹۴ | | | | |
| زاویهٔ ران در FM | | ۰/۸۵ | | | |
| زاویهٔ زانو در FM | | | ۰/۸۲ | | |
| زاویهٔ مچ در BC | | ۰/۸۳ | | | |
| سرعت زاویه‌ای زانو BC | ۰/۹۳ | | | | |
| سرعت زاویه‌ای مچ BC | | | ۰/۹۷ | | |
| سرعت زاویه‌ای ساق BC | | | | ۰/۸۹ | |
| سرعت زاویه‌ای ساق FM | | | | | -۰/۸۸ |
| سرعت زاویه‌ای پا BC | ۰/۸۵ | | | | |

در $PC_2$ متغیرهای زاویهٔ ران در لحظهٔ تاب پای ضربه و زاویهٔ مچ در لحظهٔ ضربه و در $PC_3$ سرعت زاویه‌ای مچ در لحظهٔ ضربه و زاویهٔ زانو در لحظهٔ تاب رو به جلو پای ضربه متغیرهای

اثرگذار بعدی هستند.

در $PC_4$ سرعت زاویه‌ای ساق در لحظهٔ ضربه و در $PC_5$ سرعت زاویه‌ای ساق در لحظهٔ حرکت رو به جلو پای ضربه به‌عنوان متغیرهای اثرگذار در نتیجهٔ ضربه شناخته شده‌اند.

با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که در میان سه لحظهٔ مورد بررسی (تاب پای ضربه، ضربه به توپ و ادامهٔ حرکت) متغیرهای مربوط به لحظهٔ ضربه و تاب رو بـه جلـو پـای ضـربه واریـانس اطلاعات بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند، ولی متغیرهای مربوط به لحظهٔ ادامهٔ حرکـت در هیچ‌یک از مؤلفه‌ها وجود ندارند. در مجموع، می‌توان مشاهده کرد که از ۲۸ متغیر کینمـاتیکی بررسی‌شده، ۱۰ متغیر در پنج مؤلفه خلاصه شدند.

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق تعیین مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی شوت روی پای دقیق در فوتسال، با توجه به مراحل اجرای مهارت بود. مسافت دورخیز، سرعت دورخیز و زاویهٔ آن از جنبه‌های مهم آمادگی برای ضربه است که اهمیت به‌سزایی بر موفقیت ضربه دارد (۲، ۲۱). شوت با دورخیز در مقایسه با شوت ثابت سرعت بیشتری دارد. البته، با توجه به تحقیقات انجام شده، تفاوت دورخیز با یک گام و دورخیز با چند گام بر سرعت توپ هنوز کاملاً مشخص نیست (۲۱). اگرچه تمرینات نشان می‌دهد که بازیکنان چند گام دورخیز، غالباً دو یا سه گام پیش از ضربه را ترجیح می‌دهند (۲۱). گودیک (۱۹۹۳) در تحقیقی به این نتیجه رسید که دقت ضربه به سرعت دورخیز بستگی دارد. وی بیان کرد که وقتی بازیکن با سرعت خودش به توپ نزدیک می‌شود دقت بیشتری دارد، به‌عکس اگر بازیکن با بیشترین سرعت ممکن به توپ نزدیک شود، دقت ضربه کاهش می‌یابد. در تحقیق مذکور گزارش شد که ظاهراً برای دست‌یابی به شوت دقیق سرعت بهینه‌ای وجود دارد (۲۳). لیز و نولان (۱۹۹۸)، زاویهٔ دورخیز بیش از ۴۵ درجه را عاملی معرفی کرده‌اند که ممکن است بر سرعت توپ اثرگذار باشد (۲)، البته اسکور (۲۰۰۹) زاویهٔ ۴۵ و ۶۰ درجه را بهترین زاویه برای اجرای ضربه معرفی کرده است، ولی در نهایت به این نتیجه رسید که دورخیز بر دقت ضربه اثر معنی‌داری ندارد (۱۴). با توجه به هدف تحقیق حاضر برای کاهش اثر عواملی چون مسافت (یک گام دورخیز) و زاویهٔ دورخیز ( ۵ درجه) این عوامل برای تمام آزمودنی‌ها ثابت در نظر گرفته شده است تا افراد تقریباً در شرایط یکسان به توپ ضربه بزنند.

با توجه به نتایج تحقیق، به‌طور خلاصه جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در لحظهٔ ضربه، جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در لحظهٔ تاب روبه جلو پای ضربه، سرعت زاویه‌ای زانو و پا در

لحظهٔ ضربه با تقریباً ۲۵/۵۹٪ واریانس اطلاعات در $PC_1$ جای گرفتند. در واقع، متغیرهای جابه‌جایی داخلی- خارجی ران (ابداکشن) در لحظهٔ BC و FM و سرعت زاویه‌ای زانو و پا در لحظهٔ ضربه مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی هستند. نانومی (۲۰۰۲) با تأکید بر اهمیت اداکتورها و ابداکتورهای ران، ابداکشن و اداکشن ران را متغیری گزارش کرده است که جهت حرکت کل پا را کنترل می‌کند (۸). اسمیت (۲۰۰۶) نیز در تحلیل عاملی متغیرهای زاویه‌ای شوت مشابه این نتایج را به‌دست آورده و جابه‌جایی داخلی- خارجی ران را در لحظهٔ ضربه در فاکتور اول دسته‌بندی کرده است (۱۷).

بارفیلد (۱۹۹۵) و داس انجلس (۱۹۸۶) نیز سرعت زاویه‌ای زانو را در لحظهٔ ضربه از متغیرهای مهم در شوت روی پای موفق برشمرده‌اند (۲۴، ۲۵). نانومی و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بیان کردند که در لحظهٔ ضربه، سرعت اکستنشن زانو به بیشترین مقدار خود افزایش می‌یابد، البته در حرکت چرخش داخلی- خارجی درشتنی کاهش سرعتی رخ می‌دهد (۲۶). در لحظهٔ ضربه، مچ پا پلانتار فلکشن و اداکشن دارد و به‌طورکلی، با توجه به توالی پروگزیمال- دیستال مهارت، سرعت زاویه‌ای ران در لحظهٔ ضربه نزدیک به صفر و سرعت زاویه‌ای ساق[1] و پا[2] به بیشترین مقدار خود می‌رسد (۱۳).

در $PC_2$، زاویهٔ ران در لحظهٔ FM و زاویهٔ مچ پا در لحظهٔ BC متغیرهای مهم بعدی هستند. اسمیت و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تحقیق خود زاویهٔ ران ر در FM در فاکتور اول دسته‌بندی کرده‌اند (۱۷). لیز و نولان (۲۰۰۲) گزارش کرده‌اند که دامنهٔ حرکتی ران در شوت روی پای سرعتی، در مقایسه با شوت دقیق افزایش می‌یابد (۶). به‌علاوه، لیز و نولان (۲۰۰۲) به این نتیجه رسیدند که در ضربات دقیق، میزان پلانتار فلکشن مچ به‌طور معنی‌داری کمتر از ضربات سرعتی است (۶). تیکشیرا نیز با تأیید این یافته‌ها، به این نتیجه رسید که در ضربات هدفمند، در مقایسه با ضربات بدون هدف، افراد با اجرای مهارت در مدت زمان طولانی‌تر و جابه‌جایی کمتر مچ پا ضربه می‌زنند. تعیین هدف بر دقت تحمیل شده و موجب مبادله بین سرعت و دقت شوت می‌گردد (۲۷). پلانتار فلکشن بیشتر مچ، پا را در وضعیتی قرار می‌دهد که در حین اجرای شوت محل تماس پا با توپ[3] بیشتر نزدیک به مچ پا باشد تا مفاصل انگشتان پا[4]. اگر ضربه با بخش بالایی پا (نزدیک به مچ) اعمال شود، توپ با بیشترین سرعت خطی شوت

1. shank
2. foot
3. Contact point
4. Metatarsals

می‌شود (۱۳). دیچیرا (۲۰۰۹) نیز که به بررسی تفاوت زاویهٔ مچ در ضربات دقیق به نقاط مختلف تعیین شده در دروازه پرداخته است، به این نتیجه رسیده است که میزان پلانتارفلکشن مچ در لحظهٔ ضربه به نقاط مختلف اختلاف معنی‌داری دارد، البته در تحقیق وی شوت پونت[1] بررسی شده بود. در واقع، این تحقیق نشان‌دهندهٔ اثر زاویه مچ بر هدف‌گیری است (۲۸).

سرعت زاویه‌ای مچ در لحظهٔ ضربه و زاویهٔ زانو در لحظهٔ FM در $PC_3$ قرار گرفته‌اند. لوتانن[2] (۱۹۸۸) بیان کرد که عمل مچ می‌تواند سرعت رهائی توپ را تا حد کمی افزایش دهد، در حین برخورد ارتجاعی توپ با پا، گشتاور خطی تا حدی به توپ انتقال می‌یابد و هر چه جرم پا بیشتر باشد سرعت توپ بیشتر است. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت محل موثر برخورد با توپ است که بر تنش مچ پا اثرگذار است (۵)

اسمیت و همکاران (۲۰۰۶) در آنالیز متغیرهای زاویه‌ای شوت زاویه زانو را در لحظهٔ FM در هفتمین فاکتور دسته‌بندی کرده‌اند و با توجه به رابطهٔ درونی بین متغیرها بیان کردند که افزایش فلکشن زانو قبل از ضربه نشان می‌دهد که آخرین گام قبل از ضربهٔ بازیکن کوتاه بوده است؛ بنابراین مدت زمان ضربهٔ وی نیز نسبتاً کوتاه خواهد بود و به‌دلیل کاهش مدت زمان باز کردن زانو، با فلکشن زانوی بیشتری به توپ ضربه می‌زند (۱۷). ایزوکاوا و لیز نیز (۱۹۸۸) بیان کردند که دو الگوی ضربه برای شوت روی پا با یک گام دورخیز وجود دارد: الگوی اول دارای تاب به پشت زیاد و مدت زمانی طولانی‌تر ضربه است و الگوی دوم دارای تاب به پشت کوتاه با حرکت رو به جلو سریع اندام تحتانی به‌وسیلهٔ اکستنشن زانو و کوتاه بودن مدت زمان ضربه است (۹). با توجه به اینکه در تحقیق حاضر نیز شوت روی پا با یک گام دورخیز استفاده شده است، امکان دارد آزمودنی‌ها از هر دو الگوی حرکتی شوت بهره برده باشند. این نتیجه با نتیجه‌گیری اسمیت و همکاران هم‌خوانی دارد (۱۷).

سرعت زاویه‌ای ساق در لحظهٔ ضربه در $PC_4$ و سرعت زاویه‌ای ساق در لحظهٔ FM در $PC_5$، به‌ترتیب و براساس واریانس اطلاعات در الویت اهمیت قرار دارند. لوتانن (۱۹۸۸) در تحقیقی نشان داد که سرعت رهایی توپ با توجه به زمان‌بندی حرکت، ارتباط زیادی با فلکشن ران، اکستنشن زانو و ثبات کوتاه مدت مچ پا دارد و علاوه بر این، بین نیروهای ران و ساق و سرعت رهایی توپ نیز ارتباطی قوی یافت (۵). از طرفی، آسامی و همکاران (۱۹۷۶) در تحقیقی با عنوان «کارآیی شوت» به این نتیجه رسیدند که فوتبالیست‌های ماهر، با استفاده از سرعت زاویه‌ای بیشتر ران و ساق، سرعت بیشتری به توپ می‌دهند و دقت شوت به میزان تماس پا با

1. punt kick
2. Luhtanen

توپ در حین ضربه بستگی دارد (۴). به‌علاوه، دورج و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که قبل از ضربه، سرعت زاویه‌ای ران و ساق با هم برابر است و هرچه زانو برای اعمال ضربه بازتر می‌شود، سرعت زاویه‌ای ران کاهش و سرعت زاویه‌ای ساق افزایش می‌یابد که در میزان اعمال نیرو به توپ حائز اهمیت است (۱۹)، هانگ و همکاران (۱۹۸۲) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که در لحظهٔ ضربه، سرعت زاویه‌ای ساق به بیشترین مقدار خود می‌رسد (۱۳). این مسئله در ضربات دقیق اهمیت به‌سزایی دارد؛ زیرا تعیین هدف بر دقت تحمیل شده و موجب مبادله بین سرعت و دقت شوت می‌گردد (۲۷).

مرحلهٔ ادامهٔ حرکت اهمیت زیادی در اجرای مناسب و دقیق مهارت دارد (۱) و مانند هر حرکت بالستیکی، اجرای ادامهٔ حرکت موجب انتقال بیشتر گشتاور به توپ و افزایش سرعت آن می‌شود (۲۴). اگر ادامهٔ حرکت با سرعت بیشتری انجام شود، توپ نیز با سرعت بیشتری ارسال می‌شود و با توجه به مبادلهٔ سرعت و دقت احتمال کاهش دقت وجود دارد. به‌علاوه، اجرای این مرحله در جهت کاهش آسیب به اندام ضربه است (۱۳)، اما برخلاف انتظار و با توجه به اینکه حدود ۸۰٪ واریانس اطلاعات در این پنج فاکتور وجود داشته‌اند، هیچ‌یک از متغیرهای کینماتیکی در مرحلهٔ ادامهٔ حرکت در هیچ‌کدام از فاکتورهای استخراجی مشاهده نشد. این نتیجه در حالی است که اسمیت و همکاران (۲۰۰۶) دامنهٔ حرکتی ران در ادامهٔ حرکت در فاکتور اول و دامنهٔ حرکتی ابداکشن و اداکشن ران را در فاکتور دوم دسته‌بندی کرده‌اند (۱۷). این مغایرت را می‌توان با توجه به تعریف ادامهٔ حرکت در تحقیق حاضر توجیه نمود. در این تحقیق، متغیرهای کینماتیکی در لحظهٔ پایان ادامهٔ حرکت بررسی شده‌اند، در حالی که در تحقیقات دیگر، میانگین متغیر در کل ادامهٔ حرکت بررسی شده است. به‌علاوه، در تحقیق حاضر برای دقت زیاد عواملی انتخاب شده‌اند که همبستگی بیشتر از ۰/۷ داشتند؛ بنابراین متغیرهایی با همبستگی کمتر در سایر فاکتورها استخراج نشده‌اند که با توجه به هدف تحقیق، این امر اجتناب ناپذیر بود.

با توجه به سه مرحلهٔ شوت یعنی تاب رو به جلو پای ضربه، لحظهٔ ضربه به توپ و ادامهٔ حرکت، لحظهٔ ضربه و تاب رو به جلو پا از مهم‌ترین لحظات ضربات دقیق‌اند. جابه‌جایی داخلی- خارجی ران، سرعت زاویه‌ای زانو و پا در لحظهٔ ضربه به توپ و جابه‌جایی داخلی- خارجی ران در لحظهٔ تاب رو به جلو پا از مهم‌ترین متغیرهای کینماتیکی ضربهٔ دقیق در میان فوتسالیست‌های نخبه به‌شمار می‌آیند.

## منابع:


1. Goktepe, A., Karabork, H., Ak, E., Cicek, S., Korkusuz, F. (2008). Kinematic analysis of penalty kick in soccer. J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ, 23 (3): 45-49.
2. Lees, A., Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: Areview. J Sports Sci, 16: 211-234.
3. Tant, C.L., Browder, K.D., Wilkerson, J.D. (1991). A three dimensional kinematic comparison of kicking techniques between male and female soccer players. In: Biomechanics in Sport IX (edited by Tant, C.L., Parrerson, P. E., York, S. L.). 101-105.
4. Asami, T., Nolte, V. (1983). Analysis of powerful ball kicking. In: Matsui, H.; Kobayashi, K. (Ed.). Biomechanics VIII-B, Champaign: Human Kinetics Publishers, 695 – 700.
5. Luhtanen, P. (1998). Kinematics and kinematics of maximal instep kicking in junior soccer players. In: Science and Football, Reilly, T., A. Lees, K. Davis., Murphy, W.J (Eds.). London: E and FN Spon, 441-448.
6. Lees, A. (2002). Biomechanics applied to soccer skills. In: Science and soccer, Reilly T. (Ed). , London: E and FN Spon, 123-134.
7. Elliot, B. (2001). Biomechanics of sport. In: Better coaching: Advanced coaches manual, Pyke, F. (Ed.). Champaign, Illinois: Human Kinetics, 171-180.
8. Barfield, W.R., Kirkendall, D., Yu, B. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. J Sports Sci & Med, 1: 72-79.
9. Isokawa, M., Lees, A. (1988). A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. Science and football (ed. Reilly, T., Lees, A., Davis, K., Murphy, W.J). London: E & FN Spon, 449-55.
10. Lees, A., Kershaw, L., Moura, F. (2005). The three-dimensional nature of maximal instep kick in soccer. In: Science and Football V. Eds: Reilly, T., Cabri, J., Araujo, D. Routledge, London, UK. 64-69.
11. Levanon, J., Dapena, J. (1998). Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. Med Sci Sports Exe, Bloomington, 30 (6): 917–927.
12. Shan, G., Westerhoff, P. (2005). Full-body kinematics characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality. J Sport Bimech, 4: 59-72.
13. Kellis, E., Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. J Sports Sci & Med, 6: 154 – 165.
14. Scurr, J., Hall, B. (2009). The effects of approach angle on penalty kicking

accuracy and kick kinematics with recreational soccer players. J Sports Sci & Med, 8(2): 230 – 234.

15. Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A., Stergioulas, L. (2006). Impact phase kinematics of instep kicking in soccer. J Sports Sci, 24 (1):11-22.
16. Plagenhoef, S. (1971). A Cinematographic Analysis. New Jersey: Englewood Cliffs, 98-1053.
17. Smith, C., Gileard, W., Hammond, J., Brooks, L. (2006). The application of an exploratory factor analysis to investigate the inter-relationships amongst joint movement during performance of a football skill. J Sports Sci & Med, 5: 517-524.
18. Hodges, N., Hayes, S., Horn, R., Williams, A. (2005). Changes in coordination, control and outcome as a result of extended practice on novel soccer skill. Ergonomics, 48: 1672-1685.
19. Dörge, H.C., Bull Anderson, T., Sørensen, H., Simonsen, E.B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with preferred and non-preferred leg. J Sports Sci, 20: 293-299.
20. Sadeghi, H., Prince, F., Sadeghi, S., Labelle, H. (2001). Principal component analysis of the power developed in the flexion/extension muscles of the hip in able-bodied gait. J Medical Engineering and Physics, 22(10): 703-710.
21. Kellis, E., Katis, A., Gissis, I. (2004). Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach. Medicine and Science in Sport and Exercise, 36: 1017-1028.
22. Ismail, A.R., Mansor, M.R.A., Ali, M.F.M., Jaafar, S., Makhtar, N.K. (2010). Biomechanical analysis of ankle force: a case study for instep kicking. J Sports Sci & Med, 7 (3): 323-330.
23. Godik, M., Fales, I., Blashak, I. (1993). Changing the kicking accuracy of soccer players depending on the type, value and aims of training and competitive loads. In: Science and soccer II. Eds: Reilly, T., Clarys, J. and Stibbe, A. London: E&FN Spon, 254-260.
24. Barfield, W. (1995). Effects of selected kinematic and kinematic variables on instep kicking with dominant and nondominant limbs. J of Human Movement Studies, 29: 251-272.
25. Dos Anjos, L.A., Adrian, M.J. (1986). Ground reaction forces during soccer kicks performed by skilled and unskilled subjects. Revista Brasileira de Cinias do Esprto (abstract). Sao Paulo, Brazil.
26. Nonome, H., Asai, T., Ikegami, Y., Sakusari, S. (2002). Three-dimensional analysis of side-foot and instep soccer kick. J Med Sci Sports Exe, 34(12): 2028-2036.

27. Teixeira, L. (1999) Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. Perceptual and Motor Skills, 88: 785-789.

28. Dichiera, A., K.E. Webster., L. Kuilboer., M.E. Morris., T.M. Bach and J.A. Feller, (2009). Kinematic patterns associated with accuracy of the drop punt kick in Australian Football. J Science and Medicine in Sport, 9 (4): 292-298.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی