

## تحلیل پارامترهای بیومکانیکی پرتاب آزاد موفق و ناموفق در بسکتبالیست‌های حرفه‌ای

علی سلیمی<sup>۱\*</sup>، شهرام لنجان‌نژادیان<sup>\*\*</sup>، احمدرضا موحدی<sup>\*\*\*</sup>

\* دانشجوی کارشناس ارشد تربیت بدنی و علوم ورزشی گرایش بیومکانیک ورزشی، دانشگاه اصفهان

\*\* استادیار بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه اصفهان

\*\*\* استادیار رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰

### چکیده

هدف اصلی این تحقیق بررسی پارامترهای بیومکانیکی اندام فوقانی بسکتبالیست‌ها حین پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بود. شش نفر (میانگین و انحراف از معیار سنی  $23 \pm 2.09$ ) از بسکتبالیست‌های حرفه‌ای که در سوپرلیگ بسکتبال فعالیت داشتند با کسب رضایت در آزمون مشارکت کردند. جهت ثبت سینماتیک حرکت از دو دوربین پرسرعت Casio zr-200 در فرکانس ۲۴۰ هرتز و جهت ثبت فعالیت الکتریکی از دستگاه الکترومایوگرافی ME6000 T16 استفاده شد. از آزمون آماری ویلکاکسون جهت بررسی اختلافات معنی‌دار بین پرتاب‌های موفق و ناموفق استفاده شد ( $p \leq 0.05$ ). مشاهده کردیم که سرعت زاویه‌ای مفصل مچ در لحظه‌هایی توپ به‌طور معناداری در پرتاب‌های موفق بیشتر بود ( $p \leq 0.028$ ). مفاصل مچ ( $p \leq 0.008$ ) و شانه ( $p \leq 0.023$ ) نیز فلکشن بیشتری در پرتاب‌های موفق نشان دادند؛ درحالی‌که آرنج ( $p \leq 0.002$ ) در پرتاب‌های موفق فلکشن کمتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق داشت. نتایج نشان دادند جابه‌جایی زاویه‌ای مچ ( $p \leq 0.034$ ) و آرنج ( $p \leq 0.004$ ) در پرتاب‌های موفق به‌طور معناداری بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود. سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی هر سه عضله فلکسور کف‌دستی زند اعلی، سه‌سر بازو و دلتوئید قدامی در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اما تنها اختلاف معنی‌دار در سطح زیر منحنی عضله سه‌سر بازویی مشاهده شد ( $p \leq 0.034$ ). در نگاه کلی، می‌توان گفت افزایش در سرعت زاویه‌ای مچ دست و میزان فعالیت عضله سه‌سر بازویی در موفقیت پرتاب‌های آزاد تأثیر داشته‌اند.

کلید واژه: بیومکانیک، سینماتیک، الکترومایوگرافی، پرتاب آزاد بسکتبال.

### Biomechanical analysis of successful versus unsuccessful free throw shots performed by professional basketball players

Salami, A.\*., Ienjannejadian, SH\*\*., Movahedi, A.R\*\*\*.

\* M.A of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, university of Isfahan.

\*\* Assistant professor of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, university of Isfahan.

\*\*\* Assistant professor of motor behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, university of Isfahan.

#### Abstract:

The main purpose of the present study was to investigate the kinematics and kinetics of successful versus unsuccessful basketball free throw shots. Six professional basketball players (age =  $23 \pm 2.09$  years) members of Iranian premier basketball league participated in test. Kinematics of arm motion during basketball free throws were recorded by two Casio zr200 camera in frequency of 240 Hz. Wilcoxon test was used for significant differences between successful versus unsuccessful free throws ( $p \leq 0.05$ ). Angular velocity of the wrist was found to be significantly higher in successful versus unsuccessful shots at the time of ball release ( $p \leq 0.028$ ). Wrist ( $p \leq 0.008$ ) and shoulder ( $p \leq 0.023$ ) joints were found to have significantly more flexion in successful versus unsuccessful shots while elbow ( $p \leq 0.002$ ) remained significantly less flexed in successful shots. Angular displacement of wrist ( $p \leq 0.034$ ) and elbow ( $p \leq 0.004$ ) was shown to be significantly greater in successful versus unsuccessful shots. Integrated EMG of Anterior Deltoid (AD), Triceps Brachii (TB) and Flexor Carpi Radialis (FCR) muscles was more in successful free throw versus unsuccessful free throw, but the only significant difference was observed in the Integrated EMG of the Triceps Brachii muscle ( $p \leq 0.034$ ). In summary, increasing the wrist angular velocity and activity of triceps brachii muscle affected successful free throws.

**Keywords:** Biomechanics, Kinematic, kinetic, Electromyography, Basketball free throw

## مقدمه

پرتاب آزاد یکی از راه‌های دستیابی به امتیاز در رشته بسکتبال بدون مزاحمت حریف است. بررسی این حرکت از جنبه‌های بیومکانیکی می‌تواند برای ورزشکار جهت دستیابی به تکنیک بهتر مفید واقع شود. دو روش تحلیل ممکن در مطالعه بیومکانیک، تحلیل پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی است. محققان زیادی به بررسی پارامترهای بیومکانیکی انواع شوت بسکتبال پرداخته‌اند. مثلاً محققان پارامترهای سینماتیکی شخص (ورزشکار) مانند توالی حرکت اندام‌ها، زمان‌بندی این حرکات، جابه‌جایی و سرعت حرکت اندام‌ها و مفاصل را بررسی کرده‌اند (۱، ۴، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲). بعضی محققان توجه خود را به پارامترهای سینماتیکی توپ بسکتبال مانند سرعت اولیه توپ، زاویه رهایی توپ، ارتفاع رهایی و چرخش توپ معطوف کرده‌اند (۴، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳). درباب بررسی پارامترهای سینتیکی تحقیقات محدودی صورت گرفته است که طی آن نیروهای خارجی وارد بر بسکتبالیست (۶) یا فعالیت الکتریکی عضلات (۹، ۱۰) بررسی شده است. محققان در تحقیقاتی به بررسی تأثیر فاصله بسکتبالیست از حلقه بر پارامترهای بیومکانیکی اجرا (۳، ۴، ۶)، سهم هر یک از اندام‌ها در اجرای شوت (۳، ۵، ۱۲)، مقایسه سینماتیکی اندام‌ها و پارامترهای رهایی توپ مانند سرعت رهایی و ارتفاع رهایی در شوت‌های مختلف (۵، ۶) و مقایسه سینماتیک حرکت اندام‌های بازیکنان در پست‌ها و سطوح‌های مختلف (۴، ۱۳) پرداخته‌اند.

دهیل سال ۱۹۹۳ در بررسی دو نوع شوت جفت و درجا به اهمیت و سهم جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل میچ دست در شوت درجا برای رسیدن توپ به سرعت مطلوب رهایی پی‌برد (۵). هادسون سال ۱۹۸۲ در بررسی سینماتیکی پرتاب آزاد نشان داد که افراد با سطح مهارت بالا نسبت به سطح متوسط و پایین، توپ را در ارتفاع بالاتری رها می‌کنند (۱۳)، اما ساروچاس سال ۱۹۸۸ در تحقیق خود، که افراد را به دو گروه (گروه اول با میانگین قد ۱/۹۲ متر، بیشتر از ۸۰ درصد و گروه دوم با میانگین قد ۲/۰۷ متر، کمتر از ۶۰ درصد پرتاب‌های خود را گل کرده بودند) تقسیم کرده بود، به این نتیجه دست یافت که بازیکنان گروه دوم به صورت معنی‌داری در پرتاب‌های موفقشان توپ را در ارتفاع بالاتری رها می‌کنند (۱۲). میلر سال ۱۹۹۹ با بررسی سیگنال الکترومایوگرافی بین شوت‌های موفق و ناموفق در فاصله ۶/۴ متری نشان داد اختلاف معنی‌داری در زمان فعالیت، سطح زیر منحنی الکترومایوگرافی و میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت وجود ندارد، اما با بررسی سیگنال الکترومایوگرافی در حوزه فرکانس به این نتیجه دست یافت که در شوت‌های ناموفق میانگین فرکانس بالاتری وجود دارد که تفاوت برای دو عضله دلتوئید خلفی (موفق = ۴۹ هرتز، ناموفق = ۵۷ هرتز) و دوسر بازویی (موفق = ۵۱ هرتز، ناموفق = ۵۵ هرتز) معنی‌دار بود. به نظر میلر، فرکانس بالاتر در فعالیت عضلات بدین معنا که در شوت‌های ناموفق از تارهای تند انقباض بیشتری استفاده شده است (۱۰). نتایج حاصل از بررسی‌های مولی نیوکس سال ۲۰۱۰ در زمینه سینماتیک پرتاب آزاد نشان داد که اختلاف سرعت رهایی پرتاب‌های موفق از سرعت مطلوب رهایی  $(0.07 \pm 0.02 -)$  متر بر ثانیه) به صورت معنی‌داری نسبت به اختلاف

سرعت رهایی پرتاب‌های ناموفق از سرعت مطلوب رهایی ( $0/11 \pm 0/12$  - متر برثانیه) کمتر بوده است، اما در دیگر پارامترهای رهایی توپ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است (۱۱). پرتاب آزاد در بسکتبال یکی از تکنیک‌های مهم در این رشته ورزشی و راهی برای کسب امتیاز بدون مزاحمت حریف است. بررسی بیومکانیکی پرتاب آزاد در دنیا هدف توجه محققان بوده است (۱۱-۱۵). بنابراین با توجه به اهمیت پارامترهای بیومکانیکی در حرکات ورزشی و به علت محدود بودن بررسی‌های بیومکانیکی پرتاب آزاد بسکتبال، هدف تحقیق حاضر بررسی سینماتیک و فعالیت الکتریکی و به دست آوردن اختلافات احتمالی در پرتاب‌های موفق و ناموفق بود.

## روش‌شناسی

شش نفر بسکتبالیست حرفه‌ای دردسترس که در سوپرلیگ بسکتبال عضو بودند، با میانگین سنی  $23 \pm 2/09$  سال، قد  $183 \pm 5/21$  سانتی‌متر، وزن  $80/33 \pm 11/58$  کیلوگرم و سابقه ورزشی  $9/16 \pm 2/33$  سال، که همگی راست‌دست بودند، با کسب رضایت در آزمون مشارکت کردند. شرکت‌کننده‌ها همگی سالم بودند و هیچ نوع آسیب‌دیدگی در اندام پرتاب‌کننده خود نداشتند. ثبت فعالیت الکتریکی عضلات یکی از راه‌های بررسی بیومکانیکی حرکت است؛ از این رو با فرض تأثیر فعالیت عضلات در پرتاب‌های موفق (وارد شدن توپ به حلقه بدون برخورد با حلقه) و ناموفق (وارد نشدن توپ به حلقه) در این تحقیق فعالیت الکتریکی عضلات اندام فوقانی حین پرتاب آزاد به وسیله دستگاه الکترومایوگرافی ثبت شد و از داده‌های به دست آمده جهت بررسی پارامترهای فعالیت الکتریکی عضلات مانند زمان فعالیت و میانگین فعالیت عضلات در پرتاب‌های موفق و ناموفق استفاده شد. با فرض تأثیر سینماتیک حرکت، از داده‌های به دست آمده از دو دوربین برای بررسی اختلافات احتمالی در سینماتیک حرکت مفاصل بالاتنه شامل مچ دست، آرنج و شانه و پارامترهای سینماتیکی توپ در لحظه رهایی در پرتاب‌های موفق و ناموفق استفاده شد. شرکت‌کنندگان پس از گرم کردن و اعلام آمادگی برای انجام آزمون و پس از نصب مارکرها و الکترودها پرتاب‌های خود را انجام دادند و از بین پرتاب‌های آنها دو پرتاب موفق و دو پرتاب ناموفق هر فرد برای تحلیل انتخاب شد. فاز مورد نظر برای تحلیل حرکت از لحظه‌ای که توپ بالای سر آزمودنی است شروع شد و تا لحظه رهایی توپ تحت بررسی قرار گرفت (فاز رانش).

فعالیت الکتریکی عضلات حین پرتاب آزاد به وسیله دستگاه الکترومایوگرافی ME6000 T16 ثبت شد. داده‌های حاصل از بررسی سیگنال الکترومایوگرافی شامل زمان فعالیت عضلات، زمان رسیدن هر عضله به حداکثر فعالیت، میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت و سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان بررسی شد. الکترودهای دستگاه الکترومایوگرافی به بدن شرکت‌کنندگان متصل شد و از سیستم وایرلس<sup>۱</sup> برای ارتباط دستگاه با مانیتور و ثبت سیگنال الکترومایوگرافی استفاده به عمل آمد. جهت نمایش سیگنال الکترومایوگرافی روی مانیتور، از نرم‌افزار مگاوین<sup>۲</sup> نسخه ۳ استفاده شد. محل قرارگیری الکترودها براساس

1. Wireless

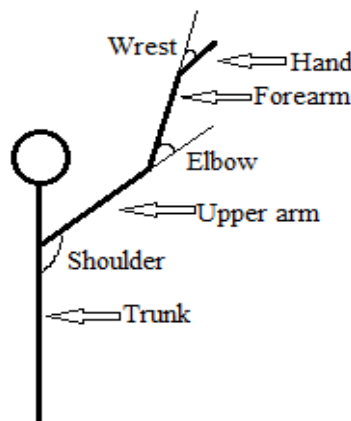
2. MegaWin

استاندارد SENIAM انتخاب شد و روی بطن سه عضله فلکسور کف دستی زند اعلی (FCR)، سه سر بازو (TB) و قسمت قدامی دلتوئید (AD) که از حرکت دهنده‌های مفاصل بالاتنه (مچ دست، آرنج و شانه) حین پرتاب آزاد هستند، قرار داده شد. محل قرارگیری الکترودها با تراشیدن مو و تمیزکردن سطح پوست با الکل و کشیدن سمباده برای کاهش مقاومت پوست آماده شد. از الکترودهای دوقطبی با جنس نقره-کلرید نقره استفاده شد. الکترودها با فاصله ۲ سانتی‌متر، موازی با فیبر عضلانی، روی بطن عضله قرار داده شد که مرکز بطن عضلات حین انقباض هم‌طول شناسایی شد. پتانسیل فعالیت الکتریکی عضلات با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به وسیله دستگاه الکترومایوگرافی ثبت شد. در نرم‌افزار متلب<sup>۱</sup> برنامه‌ای نوشته شد تا خروجی‌های مفید مانند زمان فعالیت، میانگین فعالیت عضلات و سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی بر حسب زمان از اطلاعات به دست آمده از سیگنال خام الکترومایوگرافی استخراج شود. جهت پردازش سیگنال خام ثبت شده، ابتدا در نرم‌افزار مگاوین سیگنال یک‌سو و سپس سیگنال یک‌سوشده هموار گشت. از فیلتر میان‌گذر ۲۰-۵۰۰ هرتز جهت فیلترکردن سیگنال خام استفاده شد تا اثر سیگنال‌های مزاحم ناشی از اجسام الکتریکی محیط کاهش پیدا کند. برای به دست آوردن شروع و پایان فعالیت ابتدا از خط پایه بازه‌های زمانی ۰/۳ ثانیه‌ای انتخاب شد. میانگین و انحراف از معیار بازه‌های منتخب محاسبه شد. شروع و پایان فعالیت عضله از سه برابر انحراف معیار به دست آمده از خط پایه محاسبه شد. زمان فعالیت عضلات نیز به صورت درصدی از زمان کل فعالیت بیان شد.

حرکت اندام فوقانی پرتاب‌کننده آزاد بسکتبال در دو صفحه ساجیتال و فرونتال صورت می‌گیرد. بدین منظور از دو دوربین پرسرعت Casio ZR-200 در فرکانس ۲۴۰ هرتز برای ثبت سینماتیک مفاصل و تحلیل حرکت در سه بعد استفاده شد. دوربین‌ها با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم در سمت راست پرتاب‌کننده‌ها که همگی راست دست بودند و در فاصله ۳ متری نسبت به مرکز فریم کالیبره قرار داده شد. فریم کالیبراسیون، که پرتاب‌کننده در آن حرکات خود را انجام می‌داد به صورت فضای مکعبی به ابعاد ۱/۵×۱/۷۵×۱/۵ متر طراحی شد. جهت ثبت سینماتیک مفاصل از پنج مارکر که همگی در طرف راست اندام پرتاب‌کننده قرار داشت استفاده شد. مارکرها روی مفاصل مچ دست، آرنج، شانه، لگن و مفصل بین استخوان کف دست و اولین بند انگشت کوچک قرار داده شد. شکل ۱ نمایی شماتیک از مفاصل، زوایای تعریف شده و اندام‌های فوقانی پرتاب‌کننده را نشان می‌دهد. برای مثال، فلکشن مچ دست، زاویه بین عضو دست و راستای عضو آرنج است که از روابط هندسی و ضرب داخلی دو بردار به دست آمده است. برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب طراحی شد که با استفاده از روش انتقال خطی مستقیم<sup>۲</sup> داده‌های دوبعدی به دست آمده از دو دوربین را به موقعیت سه‌بعدی مارکرها (X, Y, Z) جهت بررسی سینماتیک حرکت تبدیل می‌کرد. خروجی برنامه متلب زاویه مفاصل در طول حرکت، جابه‌جایی زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای مفاصل بود که صرفاً به بررسی سینماتیکی مفاصل در صفحه ساجیتال پرداختیم.

1. MATLAB

2. Direct Linear Transformation (DLT)



شکل ۱. اندام و مفاصل بالاتنه بسکتبالیست از نمای جانبی

تحلیل آماری داده‌های حاصل از سینماتیک مفاصل میچ دست، آرنج و شانه و فعالیت الکتریکی عضلات فلکسور کف‌دستی زند اعلی، سه‌سر بازو و دلتوئید قدامی بین پرتاب‌های موفق و ناموفق در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ صورت گرفت. برای استفاده از آزمون‌های استنباطی ابتدا با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> چگونگی توزیع اطلاعات بررسی شد و به علت طبیعی نبودن این اطلاعات، برای مقایسه شوت‌های جفت موفق و ناموفق از آزمون ناپارامتریک ویلکاکسون با سطح معنی‌داری ( $p \leq 0/05$ ) استفاده کردیم.

## نتایج

در این مطالعه زاویه مفاصل میچ دست، آرنج و شانه در لحظه‌ی رهایی، جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل و نیز سرعت زاویه‌ای مفاصل در لحظه رهایی در پرتاب‌های موفق و پرتاب‌های ناموفق محاسبه شد و نتایج شامل میانگین، انحراف معیار و معناداری آماری این پارامترها به‌دست آمد.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی سینماتیک پرتاب آزاد در جدول ۱ آمده است. در پرتاب‌های موفق مفاصل میچ دست و شانه فلکشن بیشتر و مفصل آرنج فلکشن کمتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق داشتند که همه آنها از نظر آماری معنی‌دار بود. در بررسی جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل نیز مشخص شد که جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل میچ و آرنج در پرتاب‌های موفق به صورت معنی‌داری بیشتر از پرتاب‌های ناموفق در طول حرکت است. سرعت زاویه‌ای هر سه مفصل میچ دست، آرنج و شانه در لحظه رهایی در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اما فقط در سرعت زاویه‌ای میچ دست در لحظه رهایی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد.

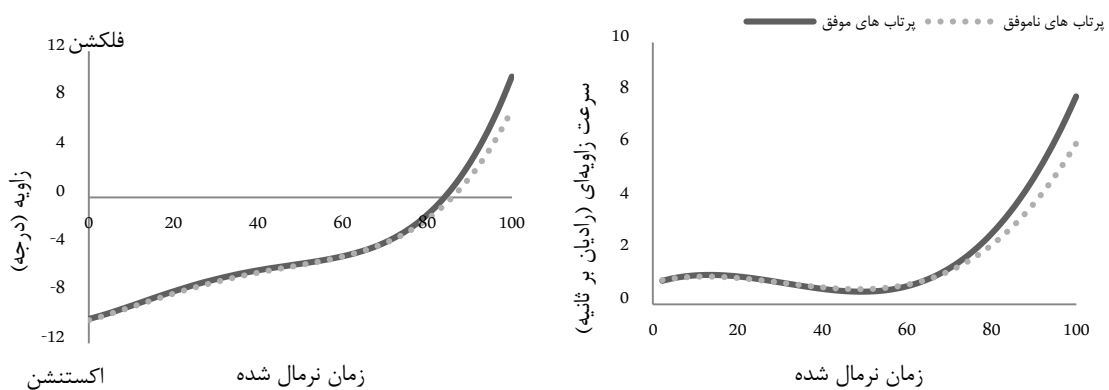
1. Kolmogorov-Smirnov test

جدول ۱. زاویه مفاصل در لحظه رهایی، جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل و سرعت زاویه‌ای مفاصل در لحظه رهایی در صفحه ساجیتال

زاویه فلکشن مفاصل در لحظه رهایی (درجه)		جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل (درجه)		سرعت زاویه‌ای مفاصل (رادیان بر ثانیه)		مفصل میچ دست
پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	
۹/۹۲	۷/۱۸	۱۹/۹	۱۷/۲۷	۷/۹۴	۶/۱۴	میانگین
±۶/۱۳	±۴/۵۸	±۸/۰۴	±۶/۳۷	±۵/۴۹	±۳/۹۲	انحراف استاندارد
۰/۰۰۸*		۰/۰۳۴*		۰/۰۲۸*		معنی‌داری
زاویه فلکشن مفاصل در لحظه رهایی (درجه)		جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل (درجه)		سرعت زاویه‌ای مفاصل (رادیان بر ثانیه)		مفصل آرنج
پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	
۲۸/۴	۳۴/۸۵	۷۱/۸۹	۶۶/۱۸	-۱۴/۴۲	-۱۳/۱۷	میانگین
±۱۱/۱	±۷/۷	±۴/۷۴	±۵/۱۲	±۲/۰۴	±۱/۶	انحراف استاندارد
۰/۰۰۲*		۰/۰۰۴*		۰/۰۷۱		معنی‌داری
زاویه فلکشن مفاصل در لحظه رهایی (درجه)		جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل (درجه)		سرعت زاویه‌ای مفاصل (رادیان بر ثانیه)		مفصل شانه
پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	پرتاب موفق	پرتاب ناموفق	
۱۲۸/۶	۱۲۶/۴۲	۱۵/۵۹	۱۴/۰۴	۵/۷۲	۵/۲۹	میانگین
±۶/۹۳	±۸/۲۸	±۴/۰۱	±۲/۸۹	±۱/۵۳	±۱/۶۲	انحراف استاندارد
۰/۰۲۳*		۰/۱۵۸		۰/۱۳۶		معنی‌داری

معنی‌داری \*  $p \leq 0.05$

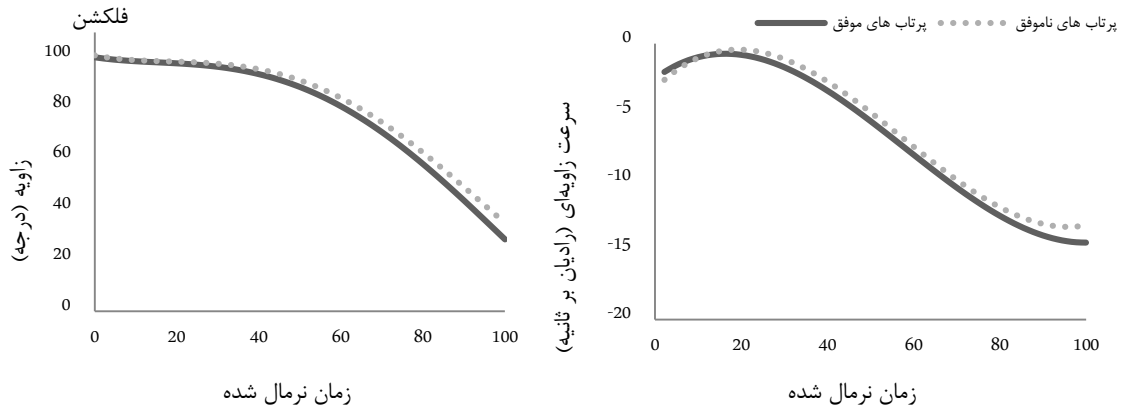
در سمت راست شکل ۲ سرعت زاویه‌ای مفصل میچ دست در طول حرکت و در سمت چپ شکل ۲ زاویه مفصل میچ دست در طول حرکت نشان داده شده است. در تمام نمودارها زمان حرکت به زمان کل نرمال شده است و به‌صورت درصدی آورده شده است. در نمودار سرعت زاویه‌ای میچ دست که در سمت راست شکل ۲ قرار دارد مشخص است که در اوایل حرکت سرعت زاویه‌ای میچ دست در دو پرتاب موفق و ناموفق تقریباً برابر است، ولی در اواخر حرکت سرعت زاویه‌ای مفصل میچ دست در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق است.



شکل ۲. سرعت زاویه‌ای مفصل میچ دست در طول حرکت (سمت راست)، زاویه مفصل میچ دست در طول حرکت (سمت چپ)

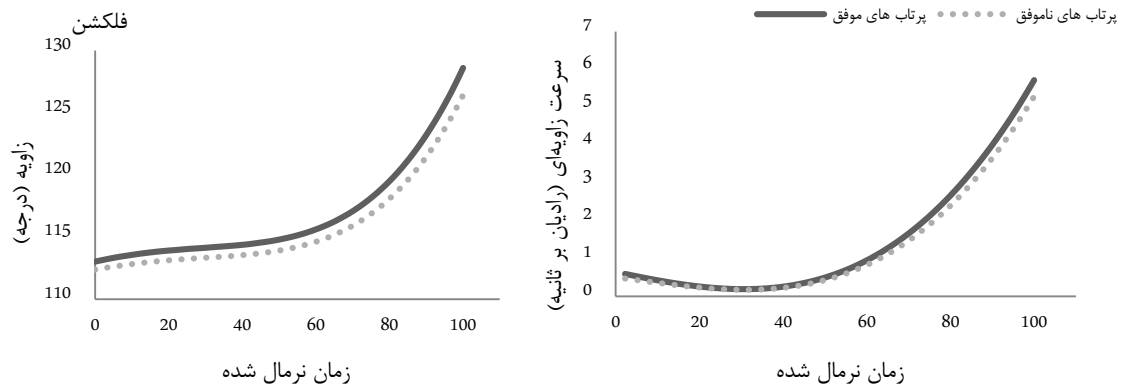
سرعت زاویه‌ای مفصل آرنج در طول حرکت در سمت راست و جابه‌جایی زاویه‌ای آرنج در سمت چپ شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار جابه‌جایی مفصل آرنج در سمت چپ شکل ۳ مشخص است،

زاویه مفصل آرنج در ابتدای حرکت در پرتاب‌های موفق و ناموفق تقریباً یکسان است، اما جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل آرنج در طول حرکت در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق است که باعث شده است که سرعت زاویه‌ای در لحظه رهایی، که در سمت راست شکل ۳ نیز مشخص است، بیشتر باشد، اما این اختلاف در سرعت زاویه‌ای مفصل آرنج از نظر آماری معنی‌دار نبود.



شکل ۳. سرعت زاویه‌ای مفصل آرنج در طول حرکت (سمت راست)، زاویه مفصل آرنج در طول حرکت (سمت چپ)

سمت راست و چپ شکل ۴ به ترتیب نشان‌دهنده سرعت و جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل شانه در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق در طول حرکت است. در سمت چپ شکل ۴ مشخص است که مفصل شانه در پرتاب‌های موفق در طول حرکت فلکشن بیشتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق دارد.



شکل ۴. سرعت زاویه‌ای مفصل شانه در طول حرکت (سمت راست)، زاویه مفصل شانه در طول حرکت (سمت چپ)

پارامترهایی مانند ارتفاع رهایی، سرعت رهایی، زاویه رهایی، جابه‌جایی افقی و جابه‌جایی عمودی مربوط به توپ نیز تحت بررسی قرار گرفت که داده‌های آن در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد که در پرتاب‌های موفق مشارکت‌کنندگان به‌طور معنی‌داری توپ را از ارتفاع بالاتری نسبت به پرتاب‌های ناموفقشان رها کرده‌اند. سرعت رهایی توپ در پرتاب‌های موفق کمتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اما زاویه رهایی در پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق بیشتر بود. با وجود این اختلاف معنی‌داری بین این تفاوت‌ها مشاهده نشد.

جابه‌جایی عمودی و افقی توپ در حین پرتاب نیز تحت بررسی قرار گرفت که هر دوی آنها در پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق بیشتر بود؛ اما فقط در جابه‌جایی عمودی توپ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. جابه‌جایی عمودی بیشتر در پرتاب‌های آزاد موفق عاملی است که توپ در این پرتاب‌ها از ارتفاع بالاتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق رها شود.

جدول ۲. میانگین و انحراف متغیرهای تحقیق در پرتاب‌های موفق و ناموفق

متغیر	پرتاب ناموفق		پرتاب موفق	
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد
ارتفاع رهایی توپ (متر)	۲/۲۷	±۰/۱۵	۲/۲۹	±۰/۱۵
سرعت رهایی توپ (متر بر ثانیه)	۷/۴۹	±۰/۷۳	۷/۳۶	±۰/۶۷
زاویه رهایی توپ (درجه)	۵۱/۸۴	±۲/۰۱	۵۱/۸۶	±۱/۹۳
جابه‌جایی عمودی توپ (متر)	۰/۵	±۰/۰۲	۰/۵۳	±۰/۰۳
جابه‌جایی افقی توپ (متر)	۰/۲۶	±۰/۰۴	۰/۲۷	±۰/۰۴

معنی‌داری \*  $p \leq 0.05$

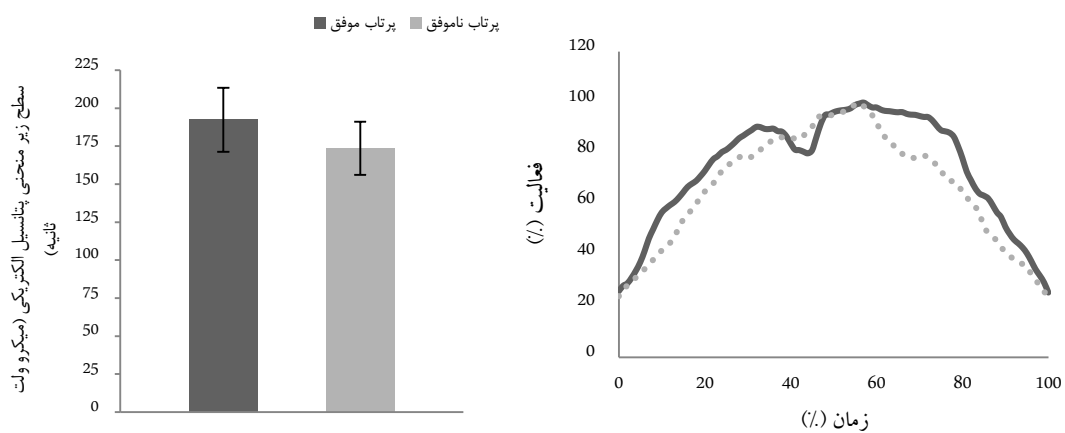
نتایج به‌دست‌آمده از بررسی سیگنال الکترومایوگرافی شامل میانگین، انحراف معیار و معنی‌داری آماری عضلات فلکسور کف‌دستی زند اعلی، سه‌سر بازو و دلتوئید قدامی در جدول ۳ آمده است. بررسی سیگنال پتانسیل الکتریکی نشان داد اختلاف معنی‌داری در مدت‌زمان فعالیت هر سه عضله فلکسور کف‌دستی زند اعلی، سه‌سر بازو و دلتوئید قدامی بین پرتاب موفق و ناموفق وجود ندارد. زمان رسیدن عضله فعال به حداکثر فعالیتش در این تحقیق مطالعه شد و مشاهده کردیم که با وجود اینکه در پرتاب‌های موفق زمان رسیدن هر سه عضله به حداکثر انقباض بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اختلاف معنی‌داری بین تفاوت‌ها وجود نداشت. میانگین فعالیت الکتریکی عضلات در طول حرکت به صورت درصدی از بیشینه فعالیت الکتریکی محاسبه شد. فعالیت الکتریکی عضلات فلکسور مچ و سه‌سر بازو در پرتاب‌های موفق بیشتر و عضله دلتوئید قدامی کمتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اما هیچ اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها مشاهده نکردیم. سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان یکی محاسبه شد و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی در هر سه عضله در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق است، ولی فقط در سه‌سر بازو این تفاوت معنی‌دار بود.



جدول ۳. زمان فعالیت عضلات، زمان رسیدن عضلات به حداکثر فعالیت، میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت، سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی (معنی داری \*  $p \leq 0.05$ )

متغیر	آماره		سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان (میکروولت ثانیه)		میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت (درصد)		زمان رسیدن به حداکثر فعالیت (ثانیه)		زمان فعالیت (ثانیه)	
	میانگین	انحراف استاندارد	موفق	ناموفق	موفق	ناموفق	موفق	ناموفق	موفق	ناموفق
مچ دست	میانگین		۱۶۲/۹۹	۱۴۹/۳	۵۹/۸۷	۵۹/۷۰	۰/۱۱	۰/۱	۰/۳۴	۰/۳۱
	انحراف استاندارد		۶۲/۹۷	۴۴/۲۳	۸/۰۳	۷/۲۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱
	معنی داری			۰/۳۴۷		۰/۸۷۵		۰/۳۶۷		۰/۸۷۵
سه سر بازویی	میانگین		۱۹۲/۲۷	۱۷۳/۵۹	۵۹/۶۴	۵۶/۷۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۳۷
	انحراف استاندارد		۴۲/۲۳	۳۴/۹۳	۷/۱۲	۷/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۶
	معنی داری			۰/۰۳۴*		۰/۲۰۹		۰/۷۵۴		۰/۶۳۸
دلتوئید قدامی	میانگین		۲۸۱/۳۷	۲۵۴/۵۸	۵۶/۱۸	۵۵/۵۵	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۴۴	۰/۴۳
	انحراف استاندارد		۱۱۶/۶۶	۹۹/۲۹	۷/۷۳	۷/۷۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۳
	معنی داری			۰/۰۸۴		۰/۶۹۵		۰/۵۳		۰/۶۳۸

در سمت راست شکل ۵ فعالیت الکتریکی عضله سه سر بازویی در طول حرکت آمده است. سمت چپ شکل ۵ نیز سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان عضله سه سر بازویی برحسب میکرو ولت ثانیه را نشان می دهد. در نمودار فعالیت الکتریکی عضله سه سر بازویی مشخص است که در طول حرکت عضله سه سر بازویی در پرتاب های موفق، فعالیت بیشتری نسبت به پرتاب های ناموفق دارد؛ بنابراین سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان عضله سه سر بازویی که در سمت چپ شکل ۵ نیز نشان داده شده است در پرتاب های موفق بیشتر از پرتاب های ناموفق است.



شکل ۵. فعالیت الکتریکی عضله سه سر بازویی در طول حرکت (سمت راست)، سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان عضله سه سر بازویی (سمت چپ)

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف انجام این تحقیق بررسی سینماتیک و ثبت فعالیت الکتریکی عضلات در پرتاب آزاد بسکتبال با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از دوربین و الکترومایوگرافی بود. در بررسی زاویه فلکشن مفاصل در صفحه حرکتی ساجیتال در لحظه‌های مشخص شد که در پرتاب‌های موفق، مفاصل مچ دست و شانه دارای فلکشن بیشتر و مفصل آرنج دارای فلکشن کمتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق است. در بررسی جابه‌جایی زاویه‌ای فلکشن مفاصل نیز مشخص شد که جابه‌جایی زاویه‌ای مفاصل مچ و آرنج در پرتاب‌های موفق به صورت معنی‌داری بیشتر از پرتاب‌های ناموفق است. جابه‌جایی زاویه‌ای بیشتر در مفاصل و در صفحه حرکتی ساجیتال، به‌خصوص مفصل شانه و آرنج، نشان‌دهنده آن است که در پرتاب‌های موفق مفاصل بیشتر باز می‌شود و توپ می‌تواند به ارتفاع‌هایی بالاتری دست پیدا کند. سرعت زاویه‌ای هر سه مفصل در لحظه‌های پرتاب‌های موفق نیز بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود که فقط در سرعت زاویه‌ای مچ دست این اختلاف معنی‌دار شد.

دهیل (۱۹۹۳) در بررسی دو نوع شوت جفت و درجا به اهمیت و سهم جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل مچ دست در شوت درجا برای رسیدن توپ به سرعت مطلوب‌رهایی پی‌برد (۵). از آنجاکه پرتاب آزاد نیز شوت درجا تلقی می‌شود و بررسی آن نشان داد که مفصل مچ در پرتاب‌های موفق دارای فلکشن بیشتر در لحظه‌های بوده و جابه‌جایی زاویه‌ای در طول حرکت و سرعت زاویه‌ای آن نیز نسبت به پرتاب‌های ناموفق بیشتر است، اهمیت مفصل مچ در پرتاب آزاد مشخص می‌شود که تأییدی بر یافته‌های دهیل است. به نظر می‌رسد فلکشن بیشتر و سرعت زاویه‌ای بیشتر در لحظه‌های پرتاب‌های در مفصل مچ دست عامل به‌وجود آمدن چرخش زیر توپ باشد که خود عاملی است که در اوج گرفتن بیشتر توپ نقش دارد. هادسون (۱۹۸۲) در بررسی سینماتیکی پرتاب آزاد نشان داد که افراد با سطح مهارت بالا نسبت به سطح متوسط و پایین، توپ را در ارتفاع بالاتری رها می‌کنند (۱۳)، اما ساروچاس (۱۹۸۸) در تحقیق خود، که افراد را به دو گروه (گروه اول با میانگین قد ۱/۹۲ متر، بیشتر از ۸۰ درصد و گروه دوم با میانگین قد ۲/۰۷ متر، کمتر از ۶۰ درصد پرتاب‌های خود را گل کرده بودند) تقسیم کرده بود، به این نتیجه دست یافت که بازیکنان گروه دوم به صورت معنی‌داری در پرتاب‌های موفقشان توپ را در ارتفاع بالاتری رها می‌کنند (۱۲). البته با توجه به اینکه میانگین قد گروه دوم در تحقیق ساروچاس در حدود ۱۵ سانتی‌متر بیشتر از گروه اول بوده است، نمی‌توان به این اختلاف در ارتفاع‌رهایی توپ اعتنا کرد.

به نظر می‌رسد افزایش در ارتفاع‌رهایی توپ از فاکتورهای دست‌یابی به موفقیت در پرتاب آزاد است. بررسی ارتفاع‌رهایی توپ در این تحقیق نشان داد که در پرتاب‌های موفق، شرکت‌کنندگان به‌طور معنی‌داری توپ را از ارتفاع بالاتری نسبت به پرتاب‌های ناموفقشان رها کرده‌اند که با نتایج هادسون (۱۹۸۲) هم‌خوانی دارد. میزان فلکشن بیشتر مفصل شانه در لحظه‌های و جابه‌جایی زاویه‌ای بیشتر در مفصل آرنج (که باعث می‌شود آرنج در لحظه‌های به اکستنشن کامل نزدیکتر شود)، در پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق، می‌تواند یکی از دلایلی باشد که توپ در پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق در ارتفاع بالاتری رها شود. در

بررسی سرعت رهایی، زاویه رهایی و جابه‌جایی افقی توپ هیچ اختلاف معنی‌داری بین پرتاب‌های موفق و ناموفق یافت نشد. نتایج حاصل از بررسی جابه‌جایی عمودی توپ نشان داد در پرتاب‌های موفق، توپ فاصله عمودی بیشتری را تا لحظه رهایی طی کرده است که این نیز می‌تواند یکی از دلایل رسیدن توپ به ارتفاع رهایی بالاتر در پرتاب‌های موفق باشد.

پارامترهای مربوط به فعالیت الکتریکی عضلات اندام فوقانی شامل زمان فعالیت عضلات، زمان رسیدن هر عضله به حداکثر فعالیت، میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت و سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان نیز در این تحقیق تحت بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد بیشتر بودن زمان فعالیت عضلات، بدین علت که حرکت پرتاب آزاد با انقباض درون‌گرای عضلات همراه است، عاملی است که به مفاصل اجازه می‌دهد جابه‌جایی زاویه‌ای بیشتری داشته باشند؛ یعنی وقتی عضله فعال است به انقباض درون‌گرای خود ادامه می‌دهد و باعث جابه‌جایی زاویه‌ای بیشتری در مفصل می‌شود. زمان فعالیت و زمان رسیدن به حداکثر فعالیت هر سه عضله فلکسور کف‌دستی زند اعلی، سه‌سر بازو و دلتوئید قدامی در پرتاب‌های موفق بیشتر از پرتاب‌های ناموفق بود، اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. با وجود معنی‌دار نبودن زمان فعالیت عضلات بین پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق، می‌توان استنباط کرد که بیشتر بودن زمان فعالیت در پرتاب‌های موفق باعث شده است که جابه‌جایی مفاصل در طول حرکت بیشتر از پرتاب‌های ناموفق باشد.

زمان فعالیت هر عضله مدت زمان انقباض را جهت انجام حرکت نشان می‌دهد، ولی سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی برحسب زمان بیان‌کننده میزان فعالیت عضله در مدت انقباضش است. فعالیت الکتریکی بیشتر و بالاتر در عضله نشان‌دهنده تولید نیروی بیشتر در یک عضله است و طبق قانون دوم نیوتن ( $F = ma$ ) به علت ثابت بودن جرم اندام‌ها باعث تولید شتاب (آهنگ تغییر سرعت) بیشتر می‌شود. بررسی سطح زیر منحنی پتانسیل الکتریکی نشان داد که در پرتاب‌های موفق سطح زیر منحنی هر سه عضله فلکسور کف‌دستی زند اعلایی و دلتوئید قدامی و سه‌سر بازویی بیشتر از پرتاب‌های ناموفق است، ولی فقط در عضله سه‌سر بازویی تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بنابراین، بیشتر بودن میزان فعالیت عضلات در پرتاب‌های موفق می‌تواند یکی از دلایل تولید سرعت زاویه‌ای بیشتر در مفاصل باشد.

بررسی میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت، که برحسب درصد بیان شده است، نیز نشان داد که هر سه عضله در پرتاب‌های موفق، میانگین فعالیت بیشتری داشته‌اند، اما تفاوت‌های موجود از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشت. میلر با بررسی سیگنال الکترومایوگرافی بین شوت‌های موفق و ناموفق در فاصله ۶/۴ متری نشان داد اختلاف معنی‌داری در زمان فعالیت، سطح زیر منحنی الکترومایوگرافی و میانگین فعالیت عضلات در طول حرکت وجود ندارد، اما با بررسی سیگنال الکترومایوگرافی در حوزه فرکانس به این نتیجه دست یافت که در شوت‌های ناموفق میانگین فرکانس بالاتری وجود دارد که تفاوت برای دو عضله دلتوئید خلفی (موفق = ۴۹ هرتز، ناموفق = ۵۷ هرتز) و دوسر بازویی (موفق = ۵۱ هرتز، ناموفق = ۵۵ هرتز) معنی‌دار بود. به نظر

میلر فرکانس بالاتر در فعالیت عضلات بدین معناست که در شوت‌های ناموفق از تارهای تند انقباض بیشتری استفاده شده است (۱۰).

## نتیجه‌گیری

در نگاه کلی، با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد افزایش در سرعت زاویه‌ای میچ دست که ناشی از میزان فعالیت بیشتر عضله فلکسور میچ‌دستی زند اعلاایی است، افزایش در ارتفاع رهایی توپ، که ناشی از جابه‌جایی زاویه‌ای بیشتر در مفاصل آرنج و شانه است و میزان فعالیت عضله‌ی سه‌سر بازویی، در موفقیت پرتاب‌های آزاد تأثیر داشته‌اند.

## منابع

1. Satern, M. (1993). Kinematic Parameters of Basketball Jump Shots Projected from Varying Distances. Proceedings of the 11th International Symposium on Biomechanics in Sports, Amherst, Massachusetts, USA, 313-317.
2. Rojas, F., Cepero, M., Oña, A., & Gutiérrez, M. (2000). Kinematic Adjustments In The Basketball Jump Shot Against An Opponent. *Ergonomics*, 43(10), 1651-1660.
3. Miller, S., & Bartlett, R. M. (1993). The Effects Of Increased Shooting Distance In The Basketball Jump Shot. *Journal Of Sports Sciences*, 11(4), 285-293.
4. Miller, S., & Bartlett, R. (1996). The Relationship Between Basketball Shooting Kinematics, Distance And Playing Position. *Journal Of Sports Sciences*, 14(3), 243-253.
5. Diehl, D., Tant, C., Emmons, S., & Osborn, R. (1993). A kinematic comparison of the basketball set shot and jump shot at two different distances of female division intercollegiate players. Proceedings of the 11th International Symposium on Biomechanics in Sports, Amherst, Massachusetts, USA, 309-312.
6. صادقی، حیدر. ۱۳۸۸. بیومکانیک اجرای شوت جفت موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های مرد نخبه. نشریه المپیک، سال هفدهم، شماره ۳. صفحات ۷-۱۸.
7. Knudson, D. (1993). Biomechanics Of The Basketball Jump Shot Six Key Teaching Points. *Journal Of Physical Education Recreation And Dance*, 64, 67-67.
8. Lindeman, B., Libkuman, T., King, D., & Kruse, B. (2000). Development Of An Instrument To Assess Jump-Shooting Form In Basketball. *Journal Of Sport Behaviour*, 23(4), 335-348.
9. Miller, S. (1997). Contribution of selected muscles to basketball shooting. Proceedings of the 15th International Symposium on Biomechanics in Sports, Denton, Texas, USA, 475-481.
10. Miller, S. (1999). Electromyographic considerations of inaccuracy in basketball shooting. Proceedings of the 17th International Symposium on Biomechanics in Sports, Perth, Western Australia, Australia, 209-212.
11. Mullineaux, D.R. And T.L. Uhl. (2010). Coordination-Variability And Kinematics Of Misses Versus Swishes Of Basketball Free Throws. *Journal Of Sports Sciences*, 28(9), 1017-1024.
12. Tsarouchas, E. Kalamaras, K. Giavroglou, A. & Prassas, S. (1988). Biomechanical analysis of free shooting in basketball. *Biomech. Sports*, 6, 551-560.
13. Hudson, J.L. (1982). A Biomechanical Analysis By Skill Level Of Free Throw Shooting In Basketball. *Biomechanics In Sports*, 95-102.
14. Hayes, D. (1987). Body Segment contributions to free throw shooting in basketball. Proceedings of the 5th International Symposium on Biomechanics in Sports, Athens, Greece, 205-211.
15. Miller, S., & Jackson, S. (1995). Kinematic comparative analysis of the coordination pattern of the basketball free throw. Proceedings of the 13th International Symposium on Biomechanics in Sports, Thunder Bay, Ontario, Canada. 71-74.