

## تحلیل الگوی فعالیت عضلانی در حرکات میل زدن، کباده کشی و سنگ گرفتن ورزش زورخانه‌ای با استفاده از الکترومایوگرافی و مدل‌سازی حرکت در ورزشکاران نخبه: مطالعه موردی - اکتشافی

ندا بروشک<sup>۱</sup>، رسول عابدی<sup>۲</sup>، محمد امین محمدیان<sup>۳</sup>، محمد امین محمدیان<sup>۳</sup>، رسول عابدی<sup>۲</sup>، ندا بروشک<sup>۱</sup>

### مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** ورزش زورخانه‌ای با وجود ارزش فرهنگی بالا، با شیوع قابل توجه آسیب‌های اندام فوقانی همراه است. نبود الگوی مرجع فعالیت عضلانی در ورزشکاران نخبه و استفاده نکردن از روش‌های نوین مانند مدل‌سازی حرکت، شکاف تحقیقاتی مهمی در این زمینه به شمار می‌رود. هدف از انجام پژوهش حاضر، تحلیل الگوی فعالیت عضلانی در حرکات میل زدن، کباده کشی و سنگ گرفتن با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی و مدل‌سازی بیومکانیکی به منظور ارائه یک الگوی مرجع برای توان‌بخشی و پیشگیری از آسیب بود.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تحلیلی- توصیفی، دو ورزشکار نخبه زورخانه‌ای (میانگین وزن ۵۲ کیلوگرم، قد ۱۶۶ سانتی‌متر) ارزیابی شدند. فعالیت الکترومایوگرافی شش عضله (دو سر بازویی، سه سر بازویی، پشتی بزرگ، دلتوئید میانی، دوزنقه فوقانی و سینه‌ای بزرگ) حین حداکثر انقباض ارادی (MVC) یا Maximal voluntary contraction) و حین اجرای حرکات ثبت شد. داده‌های کینماتیکی با سیستم آنالیز حرکت ۱۰ دوربینه (۲۰۰ هرتز) و مدل‌سازی مفصلی- عضوی در نرم‌افزار Mokka تحلیل گردید. داده‌های الکترومایوگرافی پس از نرمال‌سازی با مقدار MVC به صورت درصدی از حداکثر فعالیت مقدار مؤثر عضله گزارش شد.

**یافته‌ها:** در حرکت میل زدن، دو سر بازویی پیش از حرکت فعال شد و سه سر بازویی در فاز بالای سر نقش برون‌گرا داشت. در حرکت کباده کشی، دلتوئید میانی بیشترین فعالیت را نشان داد و پشتی بزرگ و سه سر بازویی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. در حرکت سنگ گرفتن، دلتوئید میانی و سه سر بازویی بیشترین فعالیت را در کنترل وزن سنگ به خود اختصاص دادند. در هر سه حرکت، عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی نقش محافظتی- کنترلی برون‌گرا ایفا نمودند.

**نتیجه‌گیری:** الگوهای فزیندی شده از انقباضات درون‌گرا و برون‌گرا در ورزشکاران نخبه نشان داد که عضلات آرنج نقش کلیدی در کنترل برون‌گرای گشتاورها دارند. این یافته‌ها می‌توانند به عنوان الگوی مرجع در طراحی برنامه‌های توان‌بخشی، تقویت برون‌گرا و پیشگیری از آسیب مفاصل شانه و آرنج در ورزش زورخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

**کلید واژه‌ها:** مدل‌سازی بیومکانیکی؛ انقباض عضلانی؛ تمرینات مقاومتی؛ کمر بند شانه‌ای؛ الکترومایوگرافی سطحی

**ارجاع:** بروشک ندا، عابدی رسول، محمدیان محمد امین. تحلیل الگوی فعالیت عضلانی در حرکات میل زدن، کباده کشی و سنگ گرفتن ورزش زورخانه‌ای با استفاده از الکترومایوگرافی و مدل‌سازی حرکت در ورزشکاران نخبه: مطالعه موردی - اکتشافی. پژوهش در علوم توانبخشی ۱۴۰۴؛ ۱۴: ۲۱.

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

عضلانی، مستلزم به کارگیری دقیق و هماهنگ اندامها بر اساس اصول بیومکانیکی هستند (۱، ۲). در واقع، یکی از عوامل اساسی موفقیت در هر رشته ورزشی، استفاده صحیح از اندامها و به کارگیری بهینه قوانین فیزیکی حاکم بر حرکت است؛ موضوعی که بدون شناخت دقیق از الگوهای حرکتی و فعالیت عضلات، به درستی قابل دستیابی نیست (۳). در این راستا، علم بیومکانیک با

### مقدمه

ورزش زورخانه‌ای به عنوان یکی از کهن‌ترین و غنی‌ترین نظام‌های تمرینی، جایگاه ویژه‌ای در فرهنگ و ورزش ایران دارد و شامل مجموعه‌ای از حرکات پیچیده و ریتمیک است که با ابزارهایی همچون میل، کباده و سنگ اجرا می‌شود. این حرکات علاوه بر نقش مهم در ارتقای قدرت، استقامت و هماهنگی عصبی-

۱- استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه بیومکانیک مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه علوم رفتاری، شناختی و فن‌آوری ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده مسؤول: ندا بروشک؛ استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران

Email: n.borushak@ssrc.ac.ir

تعادل‌های عضلانی و بازآموزی الگوهای حرکتی ایفا می‌کند (۱۱، ۱). نبود چنین الگوهای، فرایند ارزیابی و درمان ورزشکاران آسیب‌دیده را با محدودیت مواجه می‌کند و تصمیم‌گیری‌ها بیشتر بر پایه تجربه فردی صورت می‌گیرد تا شواهد علمی. از سوی دیگر، شناسایی الگوهای نادرست فعال‌سازی عضلات می‌تواند به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی آسیب و مداخله زودهنگام مورد استفاده قرار گیرد و از پیشرفت آسیب‌های اسکلتی-عضلانی جلوگیری کند (۱۱، ۷). بنابراین، پیوند میان تحلیل بیومکانیکی دقیق و کاربردهای توان‌بخشی، می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای سلامت و عملکرد ورزشکاران داشته باشد.

با وجود اهمیت زیاد تحلیل بیومکانیکی حرکات زورخانه‌ای، مطالعات مبتنی بر الکترومایوگرافی و مدلسازی حرکت در ورزشکاران نخبه این رشته بسیار محدود است. از سوی دیگر، دسترسی به ورزشکاران حرفه‌ای زورخانه‌ای که توانایی اجرای استاندارد حرکات همراه با ثبت هم‌زمان الکترومایوگرافی و آنالیز سه بعدی حرکت را داشته باشند، با محدودیت‌های اجرایی و فنی همراه می‌باشد. همچنین، پیچیدگی پروتکل اندازه‌گیری، زمانبر بودن آماده‌سازی آزمودنی‌ها و دشواری ثبت هم‌زمان داده‌های کینماتیکی و الکترومایوگرافی، اجرای تحقیقات با حجم نمونه بالا را در فاز اولیه پژوهش محدود می‌کند. بنابراین، پژوهش حاضر به عنوان یک مطالعه موردی-اکتشافی (Exploratory case study) طراحی شد تا ابتدا الگوهای اولیه فعال‌سازی عضلات و کنترل حرکتی در ورزشکاران نخبه شناسایی و زمینه‌ای برای مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر فراهم گردد.

با توجه به محدودیت تحقیقات پیشین و نبود الگوی مرجع فعالیت عضلانی در ورزشکاران نخبه زورخانه‌ای، انجام پژوهش‌هایی مبتنی بر روش‌های نوین تحلیل حرکت ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، مطالعه حاضر به صورت یک بررسی موردی-اکتشافی طراحی شد تا با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی و مدلسازی بیومکانیکی حرکت، الگوی فعالیت عضلات اندام فوقانی در سه حرکت اصلی میل زدن، کباده‌کشی و سنگ گرفتن در ورزشکاران نخبه زورخانه‌ای بررسی شود. هدف کلی تحقیق، تحلیل الگوهای فعال‌سازی عضلات و ارتباط آن‌ها با کنترل بیومکانیکی مفاصل شانه و آرنج به منظور آرایه یک الگوی مرجع اولیه برای کاربردهای توان‌بخشی، طراحی تمرینات اختصاصی و پیشگیری از آسیب در ورزش زورخانه‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع تحلیلی-توصیفی و موردی-اکتشافی بود که با هدف بررسی الگوی فعالیت عضلات اندام فوقانی در حرکات منتخب ورزش زورخانه‌ای انجام شد. در این مطالعه، ثبت هم‌زمان داده‌های الکترومایوگرافی سطحی و کینماتیک سه بعدی حرکت در ورزشکاران نخبه زورخانه‌ای انجام گرفت و ارتباط بین فعالیت عضلات و تغییرات زوایای مفصلی مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به ماهیت اکتشافی تحقیق، پیچیدگی پروتکل ثبت داده‌ها و محدودیت دسترسی به ورزشکاران حرفه‌ای واجد شرایط، پژوهش به صورت موردی بر روی دو ورزشکار نخبه اجرا شد تا الگوهای اولیه فعال‌سازی عضلات و کنترل حرکتی در این حرکات استخراج گردد. قبل از انجام مطالعه از هر دو شرکت کننده رضایت‌نامه کتبی اخذ گردید.

به منظور انجام تحقیق، ابتدا از آزمودنی‌ها درخواست شد به مدت ۱۰ دقیقه پروتکل گرم‌کردن استاندارد را انجام دهند. این پروتکل شامل ۵ دقیقه فعالیت هوازی سبک (راه رفتن و حرکات ریتمیک اندام فوقانی)، ۳ دقیقه حرکات کششی

تحلیل حرکات و عملکرد عضلات، امکان شناسایی الگوهای بهینه حرکتی را فراهم می‌کند و می‌تواند منجر به بهبود تکنیک، افزایش کارایی و کاهش فشارهای غیر ضروری بر ساختارهای اسکلتی-عضلانی شود (۴).

با وجود مزایای متعدد این ورزش، شواهد نشان می‌دهد که شیوع آسیب‌های اسکلتی-عضلانی در میان ورزشکاران زورخانه‌ای قابل توجه است و بخش عمده‌ای از این آسیب‌ها در ناحیه اندام فوقانی به ویژه مفصل شانه و کمربند شانه‌ای رخ می‌دهد (۶، ۵). ماهیت حرکات این رشته که شامل فعالیت‌های تکراری، حرکات بالای سر و اعمال نیروهای قابل توجه است، موجب افزایش بار مکانیکی بر مفاصل و بافت‌های نرم می‌شود (۷، ۶). مطالعات اپیدمیولوژیک گزارش کرده‌اند که میزان بروز آسیب در این ورزش قابل توجه می‌باشد و بخش عمده‌ای از آن به حرکاتی همچون کباده‌کشی، میل‌گیری و حرکات چرخشی مربوط می‌شود (۵). در همین راستا، برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در بسیاری از مهارت‌های زورخانه‌ای از جمله سنگ گرفتن و میل زدن، فعالیت عضلات قدامی کمربند شانه‌ای نسبت به عضلات خلفی غالب است که این عدم تعادل عضلانی می‌تواند موجب اختلال در ریتم کتفی-بازویی و افزایش خطر آسیب شود (۸، ۶). در میان تحقیقات پیشین، پژوهش‌هایی که به بررسی بیومکانیکی این حرکات پرداخته‌اند، به طور عمده به تحلیل‌های توصیفی یا مقایسه‌ای محدود بوده‌اند (۹). به عنوان مثال، در مطالعه جعفرنژاد گرو و همکاران، فعالیت عضلات در مهارت سنگ گرفتن با حرکت پرس سینه مقایسه شد و نتایج نشان داد که الگوی فعال‌سازی عضلات در این دو تکلیف تفاوت معنی‌داری دارد؛ یافته‌ای که بیانگر ویژگی‌های منحصر به فرد حرکات زورخانه‌ای است (۹). هرچند، این‌گونه تحقیقات اغلب به یک حرکت خاص یا مقایسه با تمرینات رایج بدنسازی محدود شده‌اند و کمتر به بررسی هم‌زمان چند مهارت کلیدی این ورزش پرداخته‌اند. همچنین، در بسیاری از این پژوهش‌ها از روش‌های توسعه یافته مانند مدلسازی اسکلتی-عضلانی برای تفسیر عمیق‌تر داده‌ها استفاده نشده و تحلیل‌ها به طور عمده به داده‌های خام الکترومایوگرافی یا مشاهدات حرکتی محدود بوده است (۱۰، ۳).

از سوی دیگر، یکی از مهم‌ترین خلأهای موجود در ادبیات پژوهشی این حوزه، فقدان یک الگوی مرجع از فعالیت عضلات در ورزشکاران نخبه است. اغلب مطالعات پیشین یا بر روی جمعیت‌های غیر حرفه‌ای انجام شده‌اند یا تعداد محدودی از عضلات را بررسی کرده‌اند و به تعاملات پیچیده بین عضلات در قالب یک سیستم یکپارچه توجه کافی نشده است (۱۰، ۶). علاوه بر این، ارتباط مستقیم بین یافته‌های بیومکانیکی و کاربردهای توان‌بخشی و پیشگیری از آسیب نیز در بسیاری از تحقیقات به طور شفاف تبیین نشده است که این امر کاربرد عملی نتایج را برای مربیان و متخصصان محدود می‌کند (۱۱).

در سال‌های اخیر، پیشرفت فن‌آوری‌های اندازه‌گیری و تحلیل حرکت به ویژه الکترومایوگرافی سطحی و مدلسازی بیومکانیکی، امکان بررسی کمی زوایای مفصلی و عملکرد عضلات و تعامل آن‌ها در حین اجرای حرکات ورزشی را فراهم کرده است (۱۲، ۱۰). ترکیب این روش‌ها می‌تواند دیدگاه عمیق‌تری نسبت به نحوه فعال‌سازی عضلات، توزیع نیروها و نقش هر عضله در کنترل و تولید حرکت آرایه دهد (۱۲، ۳). این در حالی است که بهره‌گیری هم‌زمان از این دو رویکرد در تحلیل حرکات زورخانه‌ای، تاکنون به ندرت مورد توجه قرار گرفته است و همین امر یکی از شکاف‌های مهم در ادبیات موجود به شمار می‌رود.

از دیدگاه توان‌بخشی، دستیابی به الگوهای دقیق فعالیت عضلانی در افراد سالم و حرفه‌ای، نقش اساسی در طراحی برنامه‌های بازتوانی، اصلاح عدم

پزشکی فیکس گردید.

قبل از ثبت داده‌های اصلی، فعالیت تک‌تک عضلات ذکر شده حین اجرای حداکثر انقباض ارادی (Maximal voluntary contraction یا MVC) (شکل ۱، قسمت الف) ثبت گردید. جهت ارزیابی MVC، انقباضات عضلانی به مدت ۱۰ ثانیه حفظ شد. از داده‌های MVC برای نرمال‌سازی میزان فعالیت عضلات حین اجرای تکلیف اصلی استفاده گردید. برای هر عضله MVC سه بار ثبت گردید تا از میانگین آن‌ها برای نرمال‌سازی فعالیت الکتریکی عضلات استفاده گردد (۱۶).

از سیستم آنالیز حرکت ۱۰ دورینه Motion analysis (ساخت آمریکا) با فرکانس ۲۰۰ هرتز و همچنین، تعدادی نشانگر، کلاستر و چسب دو طرفه در ثبت داده‌های کینماتیکی حرکات مورد استفاده قرار گرفت. در واقع، دوربین‌های آنالیز حرکت موقعیت‌های فضایی هر نشانگر را در طی یک حرکت یا یک حالت مشخص و در زمان معین ثبت می‌کنند که این موقعیت‌های سه بعدی نشانگرها بر مبنای چارچوب مرجعی می‌باشد که اپراتور آزمایشگاه آنالیز حرکت از قبل در سیستم نرم‌افزاری مشخص کرده است. به منظور افزایش دقت و تغییرناپذیری کمتر موقعیت نشانگرهای آنالیز حرکت، نشانگرها روی قسمت‌های استخوانی بدن نصب شدند (۱۷)؛ چرا که قسمت‌های استخوانی بدن دارای حرکت پذیری کمتری نسبت به قسمت‌های دیگر دارند و فرض جسم صلب بودن بدن با دقت بالاتری در نظر گرفته می‌شود. از آنالیز سینماتیک معکوس جهت محاسبه زاویه خمش مفصل آرنج از روی موقعیت نشانگرهای اندام فوقانی استفاده گردید (۱۸).

پس از ثبت MVC، از آزمودنی‌ها درخواست گردید حرکات میل‌زنی (شکل ۱، قسمت ب) و کباده (شکل ۱، قسمت ج) را به مدت ۳۰ ثانیه انجام دهند و سپس حرکت سنگ (شکل ۱، قسمت د) را نیز ۱۰ تکرار پشت سر هم اجرا کنند. هر کدام از تکالیف حرکتی ذکر شده سه بار انجام شد.

### پردازش سیگنال عضلات

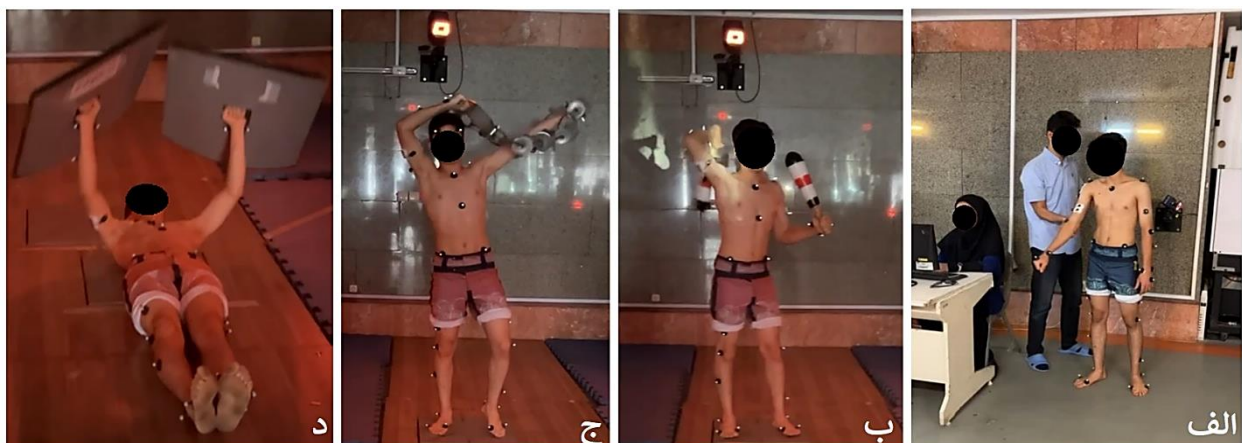
به منظور قابل مقایسه کردن داده‌های الکترومایوگرافی، سیگنال‌های ثبت شده هر عضله حین اجرای حرکات ورزشی بر مقدار MVC همان عضله نرمال‌سازی شد. ثبت سیگنال‌های الکترومایوگرافی با فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز انجام شد.

پویا برای عضلات کمر بند شانه‌ای و اندام فوقانی و ۲ دقیقه اجرای تمرینی حرکات اختصاصی زورخانه‌ای با شدت پایین بود. هدف از این گرم کردن، افزایش دمای عضلات، آماده‌سازی عصبی-عضلانی و کاهش خطر آسیب حین اجرای آزمون‌ها بود. برای ثبت فعالیت الکتریکی عضلات دو سر بازویی (بایسپس)، سه سر بازویی (تراپیزس)، پشتی بزرگ (لاتیسیموس دورسی)، دالی (دلتوئید) میانی، دوزنقه (تراپزیوس) فوقانی و سینه‌ای بزرگ (پکتورالیس ماژور)، از سیستم الکترومایوگرافی سطحی بی‌سیم (مدل Mega ME6000, Megar Electronics Ltd., Kuopio, Finland) با فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز، نسبت حذف وجه مشترک (Common mode rejection ratio یا CMRR) بیش از ۱۰۰ دسی‌بل و فیلتر باندگذر ۵۰۰-۲۰ هرتز استفاده گردید.

بدین منظور، ابتدا پوست آزمودنی‌ها مطابق با دستورالعمل پروتکل اروپایی SENIAM آماده‌سازی شد (۱۴، ۱۳). موهای زاید محل ثبت با استفاده از ژیلت اصلاح و سپس سطح پوست با الکل تمیز گردید تا مقاومت پوستی، سلول‌های مرده و نویز ناشی از امپدانس پوستی کاهش یابد. برای تعیین محل دقیق عضلات، از لمس لندهارک‌های استخوانی و انقباض ایزومتریک جهت شناسایی بالک عضلانی استفاده شد (۱۵).

ثبت فعالیت عضلات با استفاده از الکترودهای سطحی دوقطبی Ag/AgCl انجام شد. الکترودها در امتداد فیبرهای عضلانی و بر روی عضله شکم نصب شدند و فاصله مرکز تا مرکز بین دو الکترودها، ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. محل قرارگیری الکترودها بر اساس توصیه‌های SENIAM تعیین گردید؛ به طوری که الکترودها دو سر بازویی در قسمت میانی بین حفره کوبیتال و زائده آکرومیون، عضله سه سر بازویی در بخش میانی سطح خلفی بازو، عضله دلتوئید میانی در میانه فاصله بین آکرومیون و برجستگی دلتوئیدی، عضله دوزنقه فوقانی در نیمه فاصله بین مهره C7 و آکرومیون، عضله پشتی بزرگ در امتداد فیبرهای عضله در بخش خلفی-جانبی تنه و عضله سینه‌ای بزرگ در میانه فاصله بین جناغ سینه و چین آگریلاری قدامی قرار گرفتند.

الکترودها زمین بر روی زائده استخوانی اولکراتون آرنج قرار داده شد تا نویز الکتریکی محیط کاهش یابد. به منظور جلوگیری از جابه‌جایی الکترودها و کاهش آرتیفکت حرکتی، الکترودها با استفاده از چسب دو طرفه مخصوص و نوار چسب



شکل ۱. تست آنالیز حرکت با دوربین و نشانگر و ثبت سیگنال الکترومایوگرافی آزمودنی

الف. تست MVC (Maximal voluntary contraction) عضله بایسپس، ب. آنالیز حرکت میل زدن، ج. آنالیز حرکت کباده کشی، د. آنالیز حرکت سنگ گرفتن

مدلسازی بیومکانیک حرکت وارد نرم‌افزار Mokka شدند؛ بدین صورت که با اتصال نشانگرها و تشکیل لینک‌های اعضا، مدل اسکلتی بدن به صورت مفصلی-عضوی (Link-segment model) در حرکات مذکور ساخته شد و با روش سینماتیک معکوس زوایای خمش مفصل آرنج محاسبه گردید تا در ادامه ارتباط بین زاویه مفصل با روند فعالیت عضلات به صورت بیومکانیکی مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۲). مراحل پردازش سیگنال عضلات اندام فوقانی مذکور نیز به صورت تنظیم صفر سیگنال، یکسوسازی، حذف نویز، فیلتر پایین‌گذر و محاسبه مقدار مؤثر برای استخراج داده‌های مفید فعالیت عضلات از نرم‌افزار استخراج گردید (۲۰، ۱۸).

### یافته‌ها

این پژوهش تحلیلی-توصیفی بر روی دو ورزشکار حرفه‌ای ورزش زورخانه‌ای با میانگین وزنی ۵۲ کیلوگرم و قد ۱۶۶ سانتی‌متر و میانگین ۶ سال سابقه ورزش حرفه‌ای انجام شد. نتایج فعالسازی عضلانی در حرکت میل نشان داد که ورزشکاران نخبه زورخانه‌ای قبل از شروع حرکت به کمک دو عضله دو سر بازویی و دوزنقه‌ای فوقانی وزن میل و نیروی جاذبه را مهار کردند. بنابراین، در ابتدا این عضلات فعال می‌شوند و به بالا آوردن دست و خمش آرنج کمک می‌کنند. همچنین، پستی بزرگ و دلتوئید میانی در ادامه به بالا آوردن حرکت میل کمک می‌کند. در بالا نگه داشتن میل، عضله سه سر بازویی نقش مهمی ایفا می‌کند و در برگشت در مرحله نزدیک شدن افقی بازو، عضله پستی بزرگ و جهت کنترل حرکت به نقطه شروع، عضله دو سر بازویی نیز مهم می‌باشد (شکل ۳). در حرکت کباده نیز ابتدا عضله پستی بزرگ و سه سر بازویی به ترتیب بیشترین میزان فعالیت جهت کنترل حرکت و نگهداشتن کباده در بالای سر را دارند. سپس عضلات دلتوئید میانی و دوزنقه‌ای به ترتیب فعال می‌شوند.

برای کاهش نویز و جلوگیری از تداخل سیگنال عضلات مجاور (Cross-talk)، الکترودها مطابق دستورالعمل SENIAM بر روی عضله شکم در راستای فیبرهای عضلانی و با فاصله بین‌الکترودی ۲۰ میلی‌متر نصب گردید. همچنین، تلاش شد محل نصب الکترودها تا حد امکان از عضلات مجاور فاصله داشته باشد. استفاده از الکترودهای دو قطبی و آماده‌سازی مناسب پوست نیز به کاهش نویز و بهبود کیفیت سیگنال کمک کرد.

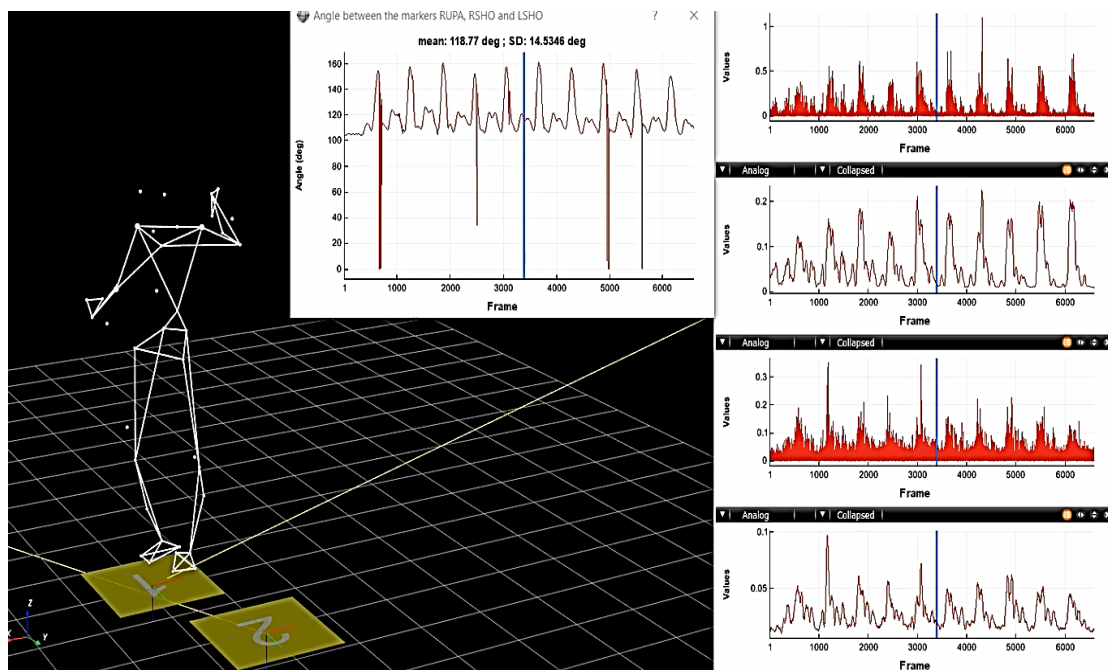
جهت کاهش آرتیفکت‌های حرکتی و نویز ناشی از فعالیت قلب، کابل‌ها و فرستنده‌های سیستم بی‌سیم تثبیت شدند و سیگنال‌ها پس از ثبت، با استفاده از فیلتر بانده‌گذر ۲۰ تا ۵۰۰ هرتز و فیلتر پایین‌گذر Butterworth با فرکانس قطع ۲۰ هرتز پردازش شدند. علاوه بر این، بررسی چشمی سیگنال‌ها برای حذف داده‌های دارای نویز غیر طبیعی انجام گرفت.

مقدار مؤثر ریشه میانگین مربعات (Root mean square یا RMS) از سیگنال‌های فیلتر شده MVC با استفاده از پنجره متحرک ۲۰۰ میلی‌ثانیه‌ای استخراج گردید. MVC به عنوان بیشترین مقدار RMS حاصل از آزمون MVC تعیین و به عنوان مرجع نرمال‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (۱۶، ۱۴).

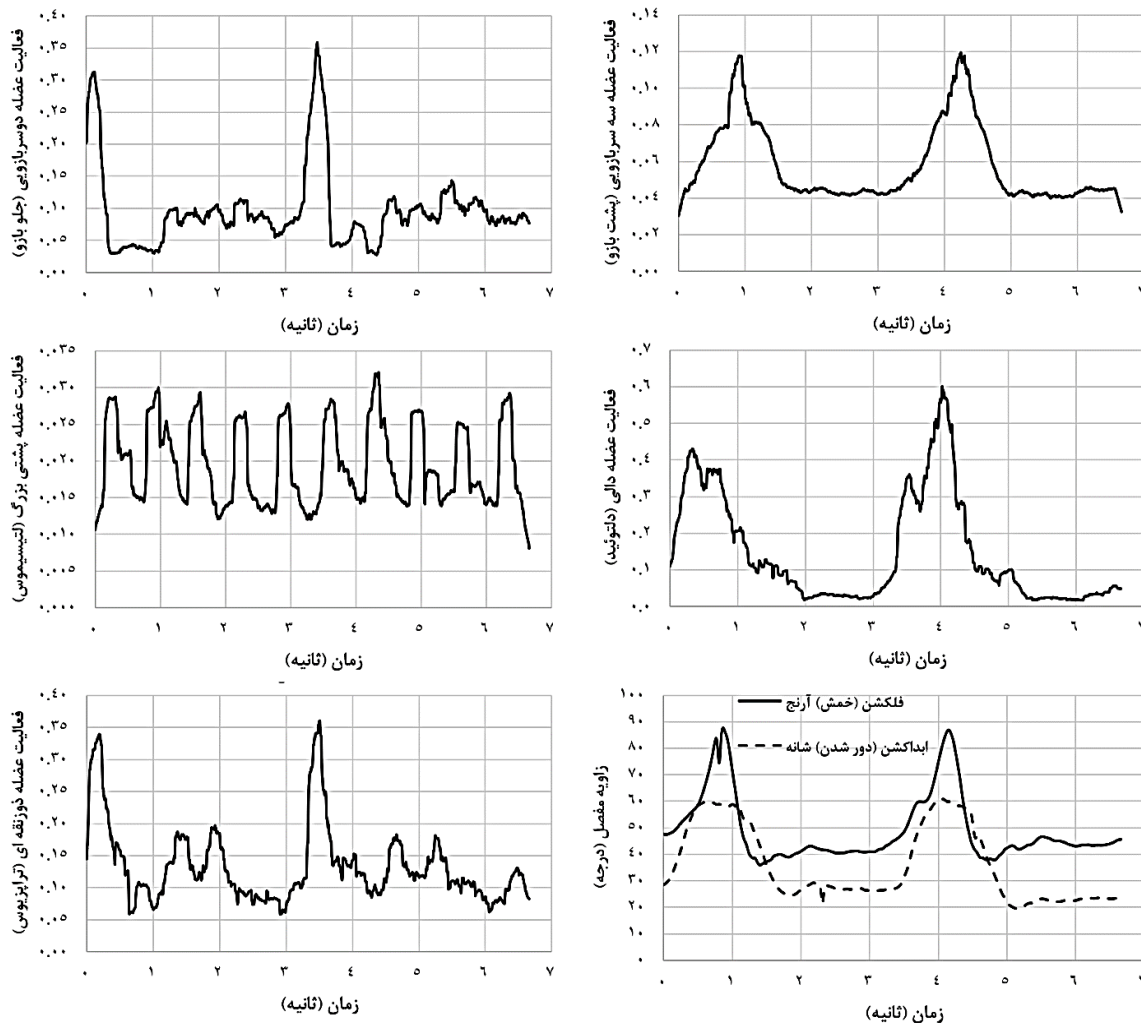
برای تعیین زمان شروع و پایان فعالیت عضلانی، ابتدا سیگنال‌ها یکسو و سپس فیلتر پایین‌گذر Butterworth بر روی آن‌ها اعمال شد تا سیگنال‌ها هموار شوند (۱۹). در ابتدای هر آزمون، چند ثانیه داده در حالت استراحت ثبت و از میانگین و انحراف معیار این بازه جهت تعیین آستانه فعالیت عضلانی استفاده گردید. زمانی که دامنه سیگنال از آستانه تعریف شده فراتر می‌رفت، به عنوان شروع فعالیت عضله در نظر گرفته شد. در ادامه، RMS سیگنال‌ها در بازه فعالیت عضلانی محاسبه و به صورت درصدی از MVC گزارش گردید.

### مدلسازی بیومکانیکی حرکت

داده‌های مربوط به نشانگرها و سیگنال‌های الکترومایوگرافی عضلات، جهت



شکل ۲. مدلسازی بیومکانیکی مفصلی-عضوی بدن در نرم‌افزار Mokka با بررسی روند زوایای مفصل و فعالیت عضلات



شکل ۳. فعالیت نرمالیزه شده عضلات اندام فوقانی شامل دو سر بازویی، سه سر بازویی، پشتی بزرگ، دالی و دوزنقه‌ای به همراه زاویه خمش آرنج و دور شدن شانه بر حسب زمان در طی دو سیکل حرکت میل زدن

عهده دارند (شکل ۵).

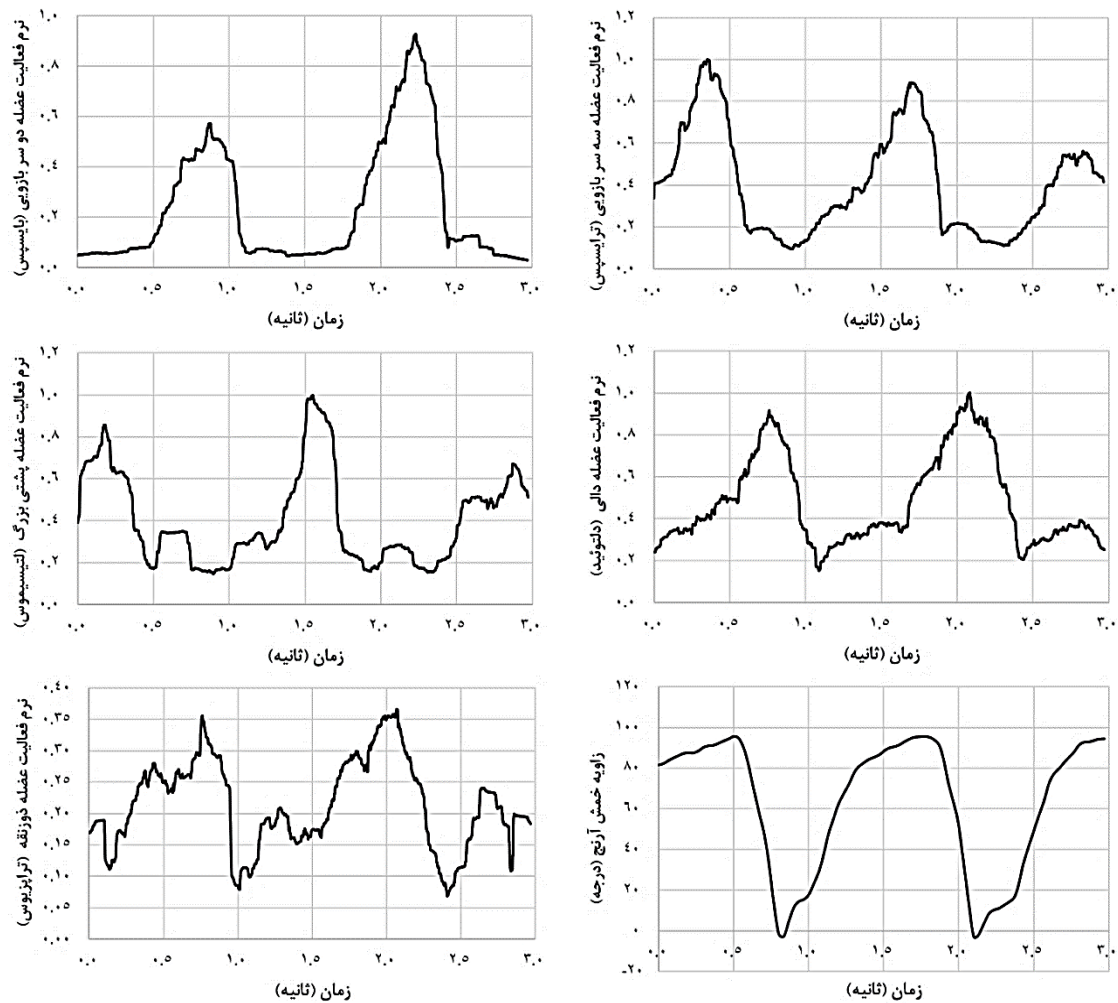
### بحث

هدف از انجام پژوهش حاضر، تحلیل الگوی فعالیت عضلات اندام فوقانی در سه حرکت اصلی ورزش زورخانه‌ای شامل میل زدن، کباده‌کشی و سنگ‌گرفتن با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی و مدلسازی بیومکانیکی حرکت بود. نتایج نشان داد که هر یک از حرکات مورد بررسی دارای الگوی اختصاصی فعال‌سازی عضلات هستند، اما در همه حرکات، عضلات کمر بند شانه‌ای و عضلات کنترل‌کننده مفصل آرنج نقش کلیدی در کنترل بار، حفظ پایداری مفصلی و هدایت حرکت ایفا می‌کنند.

در حرکت میل زدن، فعال‌سازی اولیه عضلات دو سر بازویی و دوزنقه‌ای فوقانی، پیش از شروع حرکت مشاهده شد که نشان دهنده راهبرد پیش‌فعال‌سازی عصبی-عضلانی برای غلبه بر اینرسی ابزار و ایجاد ثبات اولیه در کمر بند شانه‌ای بود.

بیشترین میزان فعالیت عضلانی در اجرای حرکت کباده، در عضله دلتوئید میانی مشاهده شد که این موضوع نشان می‌دهد این عضله نقش اصلی در اجرای مهارت حرکت کباده در ورزشکاران زورخانه‌ای را دارد. بعد از آن، عضلات پشتی بزرگ و سه سر بازویی بیشترین میزان فعالیت را نشان دادند؛ چرا که بیشتر حرکت کباده با دور شدن و نزدیک شدن بازو و خم و راست شدن آرنج انجام می‌شود. بنابراین، نقش این دو عضله در اجرای این حرکت به خوبی مشخص است. عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی در اجرای این حرکت، بیشتر نقش محافظتی و پیشگیری از آسیب را ایفا می‌کنند (شکل ۴).

در اجرای حرکت سنگ، در ابتدای حرکت، بیشترین میزان فعالیت عضلانی را عضلات سه سر بازویی و دلتوئید دارند و در واقع این دو عضله در این مرحله وزن سنگ را کنترل می‌کنند. اندکی پس از شروع حرکت نیز عضلات سینه‌ای بزرگ با وزن سنگ مقابله می‌کنند و فعالیت قابل ملاحظه‌ای دارند. در حین اجرای حرکت نیز عضلات دلتوئید و دو سر بازویی نقش کمکی و کنترل حرکت را بر



شکل ۴. فعالیت نرمالیزه شده عضلات اندام فوقانی شامل دو سر بازویی، سه سر بازویی، پشتی بزرگ، دالی و دوزنقه‌های به همراه زاویه خمش آرنج بر حسب زمان در طی دو سیکل حرکت کباده‌کشی

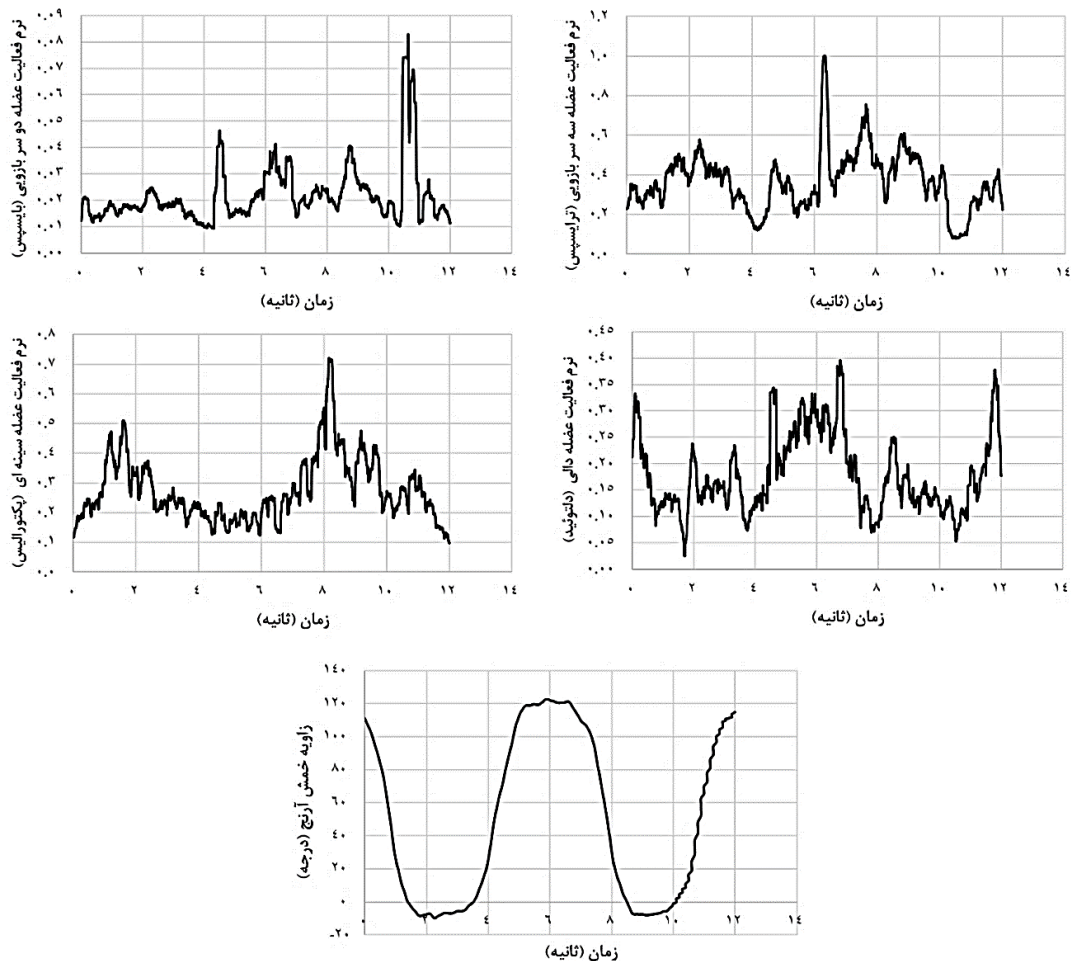
پرنگ‌تری ایفا می‌کنند (۹). نتایج بررسی حاضر نیز این موضوع را تأیید کرد؛ چرا که در حرکت سنگ گرفتن، علاوه بر عضلات مولد نیرو مانند سینه‌ای بزرگ و سه سر بازویی، فعالیت قابل توجهی در عضلات دلتوئید مشاهده گردید که نشان دهنده نیاز بیشتر به کنترل دینامیکی و پایداری مفصل شانه در این حرکت می‌باشد. تفاوت احتمالی میان این نتایج و حرکات سنتی قدرتی می‌تواند ناشی از ماهیت چند مفصلی، مسیر حرکتی منحنی و نیاز به کنترل ابزارهای آزاد در ورزش زورخانه‌ای باشد.

در حرکت میل زدن، فعال‌سازی اولیه عضلات دو سر بازویی و دوزنقه فوقانی پیش از شروع حرکت، نشان دهنده یک راهبرد عصبی-عضلانی جهت تثبیت کمر بند شانه‌ای و کنترل اینرسی ابزار بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های مربوط به کنترل حرکات بالای سر و فعالیت عضلات کمر بند شانه‌ای همسو است؛ به طوری که محققان گزارش کرده‌اند که در حرکات بالای سر، پیش‌فعال‌سازی عضلات تثبیت‌کننده شانه و اسکاپولا برای کاهش تنش مفصلی و حفظ ریتم کتفی-بازویی ضروری است (۲۰، ۶).

در حرکت کباده‌کشی، بیشترین فعالیت عضلانی مربوط به دلتوئید میانی، پشتی بزرگ و سه سر بازویی بود و عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی به طور عمده نقش کنترلی و حفاظتی داشتند.

در حرکت سنگ گرفتن نیز عضلات سه سر بازویی، دلتوئید و سینه‌ای بزرگ بیشترین مشارکت را در کنترل وزن سنگ و هدایت حرکت نشان دادند. همچنین، تحلیل هم‌زمان داده‌های الکترومایوگرافی و زوایای مفصلی نشان داد که تغییرات فعالیت عضلات، ارتباط مستقیمی با تغییرات زاویه آرنج و وضعیت شانه دارد و عضلات در فازهای مختلف حرکت، بسته به نوع گشتاورهای وارد بر مفصل، به صورت درون‌گرا یا برون‌گرا فعال می‌شوند.

یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات پیشین در زمینه بیومکانیک حرکات زورخانه‌ای و حرکات بالای سر همخوانی قابل توجهی دارد. جعفرنژاد گرو و همکاران در مقایسه حرکت سنگ گرفتن با پرس سینه، گزارش کردند که الگوی فعال‌سازی عضلات در حرکات زورخانه‌ای با تمرینات رایج مقاومتی تفاوت دارد و عضلات تثبیت‌کننده کمر بند شانه‌ای در ورزش زورخانه‌ای نقش



شکل ۵. فعالیت نرمالیزه شده عضلات اندام فوقانی شامل دو سر بازویی، سه سر بازویی، سینه‌ای و دالی به همراه زاویه خمش آرنج بر حسب زمان در طی حرکت سنگ گرفتن

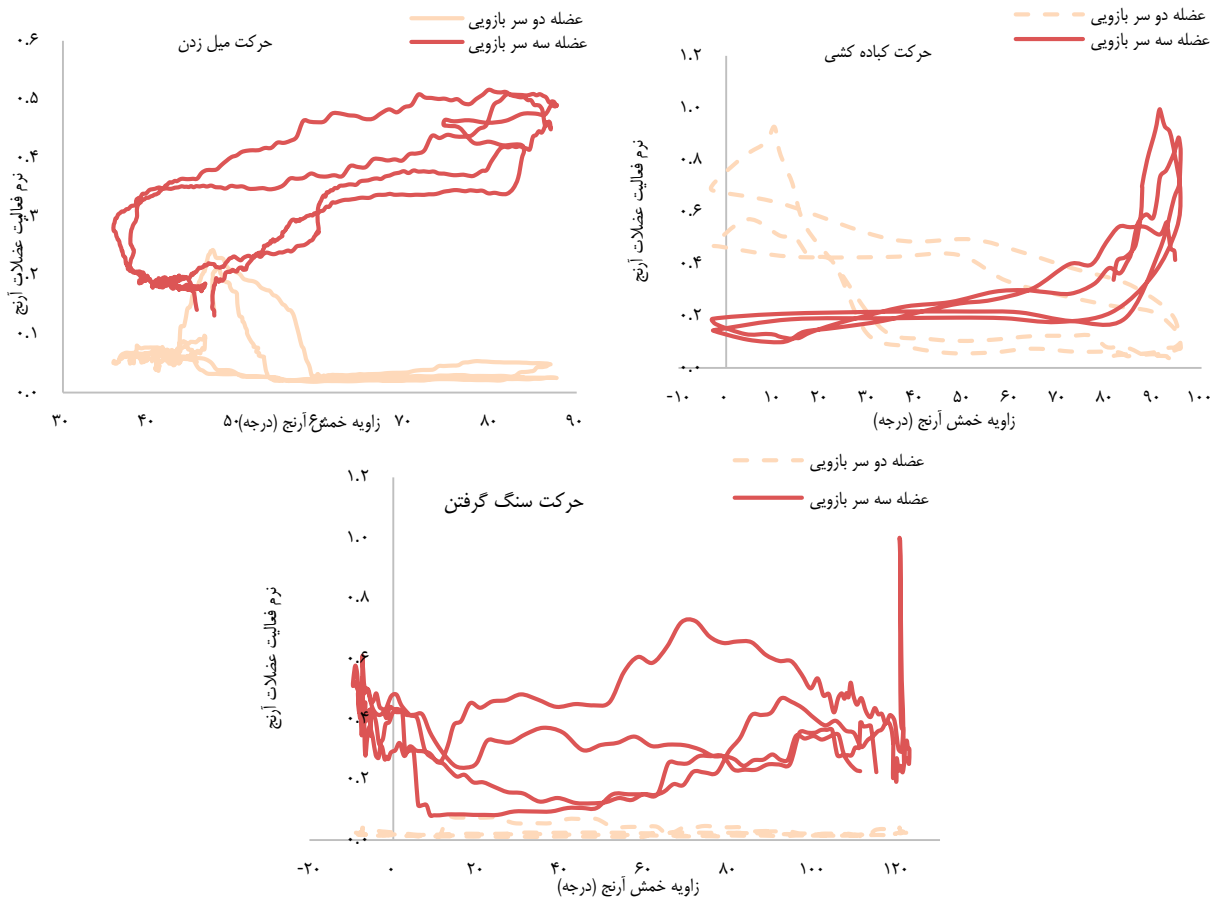
نخه از نیروهای مکانیکی و کاهش مصرف انرژی عضلانی در طول حرکت است. نتایج در تحلیل حرکت کباده‌کشی نشان داد که عضله دلتوئید میانی بیشترین میزان فعالیت عضلانی را دارد و پس از آن، عضلات پشتی بزرگ و سه سر بازویی بیشترین مشارکت را نشان دادند. این یافته با ماهیت حرکتی کباده که به طور عمده شامل ابداکشن شانه و اکستنشن آرنج تحت بار زیاد است، همخوانی دارد. نتایج تحقیقات پیشین نیز نشان داده است که در حرکات همراه با بارگذاری بالای سر، عضلات دلتوئید و تراپزیوس نقش اساسی در حفظ پایداری شانه و جلوگیری از اختلال در ریتم کتفی-بازویی دارند (۵، ۶). در پژوهش حاضر نیز فعالیت هم‌زمان عضلات دلتوئید میانی و دوزنقه فوقانی احتمالاً برای حفظ موقعیت اسکاپولا و جلوگیری از جابه‌جایی بیش از حد سر هومروس ضروری بوده است.

### محدودیت‌ها

با توجه به ماهیت اکتشافی و نیمه تجربی مطالعه حاضر و همچنین، دشواری دسترسی به ورزشکاران نخه زورخانه‌ای که حاضر به همکاری در پروتکل‌های پیچیده الکترومایوگرافی و آنالیز حرکت بودند، حجم نمونه محدود به دو ورزشکار بود.

علاوه بر این، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش ابداکشن شانه، فعالیت عضلات دلتوئید میانی و پشتی بزرگ افزایش می‌یابد. این یافته با نتایج پژوهش‌های بیومکانیکی مرتبط با حرکات ابداکشن و فلکشن شانه مطابقت دارد که در آن‌ها دلتوئید میانی به عنوان عضله اصلی تولیدکننده گشتاور ابداکشن و پشتی بزرگ به عنوان عضله کنترل‌کننده حرکت و پایدارکننده مفصل معرفی شده‌اند (۳، ۴).

در تحقیق حاضر، فعالیت عضله سه سر بازویی در مرحله نگهداری میل در پشت سر به بیشترین مقدار رسید. این یافته احتمالاً به دلیل نقش کنترلی این عضله در مقابله با گشتاور فلکسوری ناشی از وزن میل و نیروی جاذبه است. پژوهش‌های انجام شده در حرکات مقاومتی و حرکات بالای سر نیز نشان داده‌اند که عضلات اکستنسور آرنج در شرایط بارگذاری خارجی شدید، نقش مهمی در کنترل برون‌گرایی حرکت و جلوگیری از آسیب مفصل آرنج دارند (۷، ۱۸). از سوی دیگر، کاهش فعالیت دو سر بازویی در مرحله قرارگیری میل پشت سر، نشان می‌دهد که در این فاز، گشتاور فلکسوری ناشی از وزن ابزار تا حدی نیاز به فعالیت فعال این عضله را کاهش می‌دهد. این موضوع بیانگر استفاده بهینه ورزشکاران



شکل ۶. فعالیت نرمالیزه شده عضلات مؤثر در مفصل آرنج (دو سر بازویی و سه سر بازویی) بر حسب زاویه خمش آرنج در طی دو سیکل از سه حرکت میل زدن، کباده کشی و سنگ گرفتن

طراحی مطالعه طولی (هم‌گروهی) که در آن ورزشکاران زورخانه‌ای به مدت یک تا دو سال پیگیری شوند، می‌تواند ارتباط بین الگوهای برون‌گرای ضعیف (به ویژه در دو سر بازویی و سه سر بازویی) و بروز آسیب‌های آینده را روشن سازد. همچنین، انجام مداخلات توان‌بخشی بر اساس الگوهای ارابه شده در پژوهش حاضر، طراحی و ارزیابی پروتکل‌های تمرینات برون‌گرا (Eccentric training) برای عضلات آرنج و کمر بند شانه‌ای در قالب کارآزمایی‌های بالینی تصادفی شده، گام بعدی منطقی برای انتقال یافته‌های بیومکانیکی به عرصه عمل بالینی و تمرینی خواهد بود.

### نتیجه‌گیری

با جمع‌بندی یافته‌های الکترومایوگرافی و تحلیل اسکلتی-عضلانی، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی فعال‌سازی عضلات در حرکات میل زدن، کباده کشی و سنگ گرفتن در ورزشکاران نخبه، بیانگر یک راهبرد کنترلی مبتنی بر توالی دقیق انقباضات درون‌گرا و برون‌گرا و مشارکت هدفمند عضلات کمر بند شانه‌ای و آرنج است؛ به گونه‌ای که عضلاتی مانند دلتوئید میانی و پشتی بزرگ نقش غالب در تولید حرکت و عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی نقش کلیدی در کنترل

این مسأله تعمیم‌پذیری یافته‌ها را با احتیاط مواجه می‌سازد و نتایج باید به‌عنوان یافته‌های اولیه در نظر گرفته شود. با توجه به محدودیت در ثبت عضلات عمقی و استفاده از الکترومایوگرافی سطحی، ثبت فعالیت عضلات عمقی چرخاننده شانه (مانند سوپراسپیناتوس و اینفراسپیناتوس) ممکن نبود. این عضلات نقش مهمی در تثبیت دینامیک مفصل شانه دارند.

### پیشنهادها

اولین پیشنهاد، انجام پژوهش با حجم نمونه گسترده‌تر است. مطالعات آینده با حجم نمونه بیشتر (ترجیحاً ۲۰ تا ۳۰ ورزشکار نخبه) می‌تواند الگوی مرجع معتبرتری را ارائه دهد و امکان تحلیل‌های آماری استنباطی را فراهم آورد. ثبت هم‌زمان عضلات چرخاننده شانه نیز توصیه می‌شود. در این راستا، استفاده از الکتروادهای سوزنی (Fine-wire) برای ثبت فعالیت عضلات عمقی کمر بند شانه‌ای به درک کامل‌تری از مکانیسم تثبیت مفصل شانه در حرکات بالای سر کمک خواهد کرد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده الکترومایوگرافی ثبت و آنالیز حرکت با صفحه نیرو و دینامومتر ایزوکنیتیک ترکیب شود تا گشتاورهای خالص مفصلی به صورت کمی محاسبه و با الگوی فعالیت عضلات مقایسه گردد.

ورزشکاران آسیب‌دیده به تمرین کمک کند. علاوه بر این، شناسایی زمان‌بندی دقیق فعال‌سازی عضلات، امکان طراحی تمرینات اختصاصی برای بازسازی هماهنگی بین عضلات را فراهم می‌آورد.

### تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی با شماره ۱۴۰۳/۲۴۲/۵۰۸ در فدراسیون ورزش‌های زورخانه‌ای و کشتی پهلوانی می‌باشد. بدین وسیله از کلیه شرکت‌کنندگان مطالعه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### نقش نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی پروژه: ندا بروشک  
جذب منابع مالی برای انجام پروژه: ندا بروشک  
خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی پروژه: ندا بروشک  
فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه: ندا بروشک، محمد امین محمدیان  
جمع‌آوری داده‌ها: ندا بروشک، محمد امین محمدیان  
تحلیل و تفسیر نتایج: ندا بروشک، رسول عابدی  
خدمات تخصصی آمار: ندا بروشک، رسول عابدی  
تنظیم دست‌نوشته: ندا بروشک، رسول عابدی  
ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی: رسول عابدی، ندا بروشک  
تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله: رسول عابدی، ندا بروشک، محمد امین محمدیان  
مسئولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران: رسول عابدی، ندا بروشک، محمد امین محمدیان

### منابع مالی

مطالعه حاضر بر اساس بخشی از اطلاعات مستخرج از طرح پژوهشی با شماره ۱۴۰۳/۲۴۲/۵۰۸ در فدراسیون ورزش‌های زورخانه‌ای و کشتی پهلوانی و تحت حمایت مالی این فدراسیون تنظیم گردید.

### تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند.

برونگرایی گشتاورهای ناشی از وزن ابزارها دارند. این الگو از دیدگاه بیومکانیکی نشان دهنده اهمیت حفظ تعادل بین عضلات آگونیست و آنتاگونیست و نیز هماهنگی اسکاپولوهومرال در حرکات بالای سر است؛ عاملی که در صورت اختلال، می‌تواند منجر به افزایش استرس مکانیکی بر مفصل شانه و بروز آسیب‌های شایع این ناحیه شود. از منظر توان‌بخشی، این یافته‌ها بر ضرورت طراحی برنامه‌های بازآموزی حرکتی مبتنی بر تقویت انتخابی عضلات پایدارکننده (به ویژه در فازهای برون‌گرا) و اصلاح عدم تعادل عضلانی تأکید دارد.

در حوزه پیشگیری از آسیب نیز توجه به تقویت برون‌گرایی عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی در مفصل آرنج و بهبود کنترل عصبی-عضلانی در فازهای انتقالی حرکت، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خطر آسیب‌های ناشی از بارهای تکراری و حرکات سریع داشته باشد. در نهایت، از دیدگاه عملکرد قهرمانی، استفاده از این الگوی مرجع در طراحی تمرینات اختصاصی و فازبندی شده می‌تواند منجر به بهینه‌سازی کارایی حرکتی، کاهش اتلاف انرژی و ارتقای کیفیت اجرای مهارت‌ها در ورزشکاران زورخانه‌ای شود.

بر اساس نتایج به دست آمده، حرکات زورخانه‌ای دارای الگوهای فعالیت عضلانی هماهنگ و فازبندی شده هستند که در آن‌ها تعادل بین عضلات تولیدکننده نیرو و کنترل‌کننده، نقش کلیدی در اجرای صحیح حرکت دارد. تأکید بر تقویت برون‌گرایی عضلات آرنج و بهبود کنترل کمر بند شانه‌ای، می‌تواند در پیشگیری از آسیب مؤثر باشد. همچنین، استفاده از این الگوها در طراحی تمرینات اختصاصی، به ارتقای عملکرد و کارایی حرکتی ورزشکاران کمک می‌کند. در نوع انقباضات عضلانی طی حرکات و نوع عضلات درگیری که شرح داده شد، می‌تواند اطلاعات قابل توجهی را در طراحی پروتکل‌های تمرینی در اختیار مربیان قرار دهد تا بتوانند نقاط ضعف و قوت ورزشکاران خود را در هر مرحله تشخیص دهند و با توجه به عضلات درگیر در هر فاز، پروتکل‌های تمرینی مناسبی را تجویز نمایند. با تحلیل اسکلتی-عضلانی این حرکات، می‌توان پیشنهاد داد که مربیان این رشته ورزشی، پروتکل‌های تمرینی را بر مبنای تمرینات برون‌گرا و درون‌گرا برای مفصل آرنج لحاظ کنند.







از منظر توان‌بخشی، الگوهای به دست‌آمده در مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان یک مرجع عملکردی به منظور طراحی برنامه‌های بازآموزی حرکتی مورد استفاده قرار گیرد. تأکید بر تقویت عضلات در فازهای برون‌گرا به ویژه در عضلات دو سر بازویی و سه سر بازویی و همچنین، بهبود کنترل عصبی-عضلانی عضلات کمر بند شانه‌ای، می‌تواند به اصلاح الگوهای حرکتی نادرست و بازگشت ایمن

### References

1. Kinsella R, Pizzari T. Shoulder muscle activation during rehabilitation exercises in subjects with and without subacromial pain syndrome: a systematic review. *Shoulder Elbow*. 2017; 9(2): 112-26.
2. Challoumas D, Stavrou A, Dimitrakakis G. Biomechanical adaptations and injury associations in overhead athletes: a systematic review. *Sports Biomech*. 2017; 16(2): 220-37.
3. Gurney AB, Mermier CM, LaPlante M, Majumdar A, O'Neill K, Shewman T, et al. Shoulder electromyography measurements during activities of daily living and routine rehabilitation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2016; 46(5): 375-83.
4. Bagordo A, Ciletti K, Kemp-Smith K, Simas V, Climstein M, Furness J. Isokinetic dynamometry as a tool to predict shoulder injury in overhead athletes: a systematic review. *Sports (Basel)*. 2020; 8(9): 124-38.
5. Spall P, Ribeiro DC, Sole G. Electromyographic activity of shoulder girdle muscles in patients with rotator cuff tears: systematic review and meta-analysis. *PM R*. 2016; 8(9): 894-906.
6. Kinsella R, Pizzari T, Morris HG. Scapular dyskinesis and muscle activation deficits in overhead athletes. *Shoulder Elbow*. 2018; 10(1): 40-52.
7. Challoumas D, Dimitrakakis G. Shoulder biomechanics and injury mechanisms in overhead sports: systematic review. *Sports*

- Biomech. 2018; 17(3): 276-95.
8. Ludewig PM, Braman JP. Shoulder impingement: biomechanical considerations in rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017; 47(3): 106-15.
  9. Jafarnejadgero A, Madadi-Shad M, Majlesi M. Comparison of shoulder muscle activation during traditional Zurkhaneh stone movement and bench press exercise. *J Bodyw Mov Ther.* 2019; 23(4): 857-63.
  10. Hermens HJ, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016; 26: 361-74.
  11. Bagordo A, Furness J, Climstein M. Shoulder muscle imbalance and injury prediction in overhead athletes. *Sports (Basel).* 2020; 8(9): 124-36.
  12. Chua MX, Okubo Y, Peng S, Do TN, Wang CH, Wu L. Analysis of fatigue-induced compensatory movement using wearable EMG sensors. *Sensors (Basel).* 2024; 24(3): 1142-38.
  13. Bishop D. Warm-up optimization for elite athletic performance. *Sports Med.* 2018; 48(4):821-38.
  14. De Luca CJ, Nawab SH, Roy SH. Surface electromyography signal processing and applications. *J Neurophysiol.* 2019; 122(1): 151-62.
  15. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, et al. European recommendations for surface electromyography. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116(2): 213-22.
  16. Besomi M, Hodges PW, Clancy EA, Van Dieën J, Carson RG, Merletti R, et al. Consensus for experimental design in surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol.* 2019; 48: 1-12.
  17. Kanko RM, Laende EK, Davis EM, Selbie WS, Deluzio KJ. Concurrent assessment of gait kinematics using motion capture. *Gait Posture.* 2021; 87: 31-8.
  18. Seth A, Hicks JL, Uchida TK, Habib A, Dembia CL, Dunne JJ, et al. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control. *PLoS Comput Biol.* 2018; 14(7): e1006223.
  19. Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey SN. *Research methods in biomechanics.* 3rd ed. Champaign: Human Kinetics; 2018. p. 211-45.
  20. Hicks JL, Uchida TK, Seth A, Rajagopal A, Delp SL. Is my model good enough? Best practices for biomechanical modeling and simulation. *J Biomech.* 2021; 116: 110186-98.

## Analysis of Muscle Activation Patterns during Mil Swinging, Kabadeh Pulling, and Sang Holding in Traditional Zurkhaneh Sports Using Electromyography and Motion Modeling in Elite Athletes: A Case Study

Neda Boroushak<sup>1</sup>  , Rasoul Abedi<sup>2</sup>  ,  
Mohammad Amin Mohammadian<sup>3</sup>  

### Original Article

### Abstract

**Introduction:** Despite its high cultural value, Zurkhaneh sport is associated with a significant prevalence of upper extremity injuries. The lack of a reference pattern of muscle activity in elite athletes and the failure to utilize modern methods such as movement modeling represent a major research gap. This study aimed to analyze the muscle activity pattern in Mil-Zadan, Kabadeh-Keshi, and Sang-Gereftan movements using surface electromyography and biomechanical modeling to provide a reference pattern for rehabilitation and injury prevention.

**Materials and Methods:** In this analytical-descriptive study, two elite Zurkhaneh athletes (mean weight 52 kg, height 166 cm) were evaluated. Electromyographic activity of six muscles (biceps, triceps, latissimus dorsi, middle deltoid, upper trapezius, and pectoralis major) was recorded during maximal voluntary contraction and while performing the movements. Kinematic data were collected using a 10-camera motion analysis system (200 Hz) and link-segment modeling in Mokka software. EMG data were normalized to MVC and reported as a percentage of maximal activity (RMS).

**Results:** In Mil-Zadan, the biceps were activated before movement, and the triceps played an eccentric role in the overhead phase. In Kabadeh-Keshi, the middle deltoid showed the highest activity, followed by the latissimus dorsi and triceps. In Sang-Gereftan, the middle deltoid and triceps had the highest activity in controlling the weight of the stone. In all three movements, the biceps and triceps played a protective-control eccentric role.

**Conclusion:** The phased patterns of concentric and eccentric contractions in elite athletes showed that the elbow muscles play a key role in the eccentric control of torques. These findings can be used as a reference pattern for designing rehabilitation programs, eccentric strengthening, and preventing shoulder and elbow joint injuries in Zurkhaneh sport.

**Keywords:** Biomechanical modeling; Muscle contraction; Resistance training; Shoulder girdle; Surface electromyography

**Citation:** Boroushak N, Abedi R, Mohammadian MA. Analysis of Muscle Activation Patterns during Mil Swinging, Kabadeh Pulling, and Sang Holding in Traditional Zurkhaneh Sports Using Electromyography and Motion Modeling in Elite Athletes: A Case Study. J Res Rehabil Sci 2025; 21.

Received date: 31.12.2024

Accept date: 04.02.2025

Published: 03.04.2025

1- Assistant Professor, Department of Sports Biomechanics, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biomedical Engineering Biomechanics, School of Biomedical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Cognitive and Behavioral Sciences and Technology in Sport, School of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Corresponding Author:** Neda Boroushak; Assistant Professor, Department of Sports Biomechanics, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran; Email: n.boroushak@ssrc.ac.ir