

مقایسه‌ی نتایج تجربی استفاده از کفش آگرتیک، کفش معمولی و پای برهنه بر سینماتیک افراد سالم در پرش عمودی

مصطفی رحمانی دهقانی (کارشناس ارشد)

امیر نورانی* (دانشیار)

نوید ارجمند (استاد)

فاطمه فرهی قهی (کارشناس)

دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی مکانیک شریف (بهار ۱۴۰۲)
دوره ۳-۳، شماره ۱، ص. ۸۹-۹۸، (پژوهشی)

در این مقاله نتایج تجربی استفاده از کفش آگرتیک، کفش معمولی و پای برهنه بر سینماتیک افراد سالم در پرش عمودی مقایسه می‌شود. از ۱۱ شخص سالم خواسته شد که آزمون پرش عمودی را در این سه حالت انجام دهند. در حین انجام آزمون‌ها به عضلات شکمی و کمری آنها ۱۲ الکترومایوگرافی متصل شد و دوربین‌های مادون قرمز مختصات ۴۵ مارکر متصل به آنها را در هر لحظه ثبت کردند. آزمون‌ها روی دو صفحه نیرو انجام شده به طوری که هر پای شخص بر روی یک صفحه نیرو قرار می‌گرفت. در پایان با بررسی نتایج و انجام آزمون‌های ANOVA و Tukey مشاهده شد که نیروی عضله‌ی لانجیسیموس، نیروی عضله‌ی ایلیوکوستالیس و نیز مرکز فشار نیروی واکنش زمین مقادیر اکسترم کم‌تری در حالتی که شخص کفش آگرتیک به پا کرده است به خود گرفتند.

mostafarahmani94@gmail.com
nourani@sharif.edu
arjmand@sharif.edu
fatemehfarahighehi@pardis.sharif.edu

واژگان کلیدی: ستون فقرات، مواد آگرتیک، ضریب بواسان، دیسک لومبوساکرال، عضله‌ی لانجیسیموس، نیروی واکنش زمین، آزمایش‌های الکترومایوگرافی EMG.

۱. مقدمه

کمردرد یکی از شایع‌ترین دردها و آسیب‌های جوامع بشری است و در کشورهای صنعتی ۶۰ تا ۷۰ درصد مردم این عارضه را تجربه می‌کنند. یکی از عواملی که بر سینماتیک ستون فقرات تأثیر می‌گذارد و سبب تغییر آن می‌شود کفش است تا جایی که تأثیر کفش‌های مختلف بر متغیرهای ذکر شده در مقالات زیادی بررسی شده است.

مواد آگرتیک یا به طور خاص، ساختارهای آگرتیک ساختارهایی هستند که ضریب بواسون آنها منفی است. در مطالعات ثابت شده است که این مواد از ویژگی‌های مفیدی مانند قابلیت جذب انرژی بالا و قابلیت شکل‌پذیری مناسب برخوردارند.^{[۱] و [۲]} همچنین در مطالعاتی دیگر، سختی بیشتر فوم‌های آگرتیک نسبت به فوم با چگالی یکسان^[۱] و همین طور مدول یانگ کم‌تر نسبت به فوم با چگالی یکسان^[۲] نشان داده شده است.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۴/۲۹، اصلاحیه ۱۴۰۱/۷/۲۳، پذیرش ۱۴۰۱/۷/۲۴.

DOI:10.24200/J40.2022.60791.1650

استناد به این مقاله:

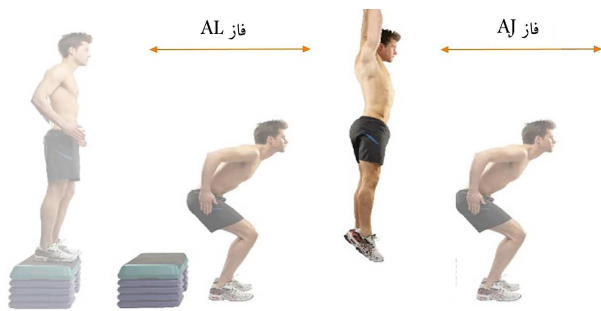
بلامنفلد و همکاران^[۳] در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ی با نام نظریه‌ی کرنش در مواد آگرتیک، آگرتیک بودن مواد را در دو حالت بررسی کردند. در این مقاله آمده است که تنش به دو صورت سبب ایجاد کرنش در مواد آگرتیک می‌شود:

- پیچش ساختارهای آگرتیکی موجود در مواد آگرتیک (آگرتون‌ها)؛
- انقباض یا انبساط ساختارهای آگرتیکی (آگرتون‌ها).

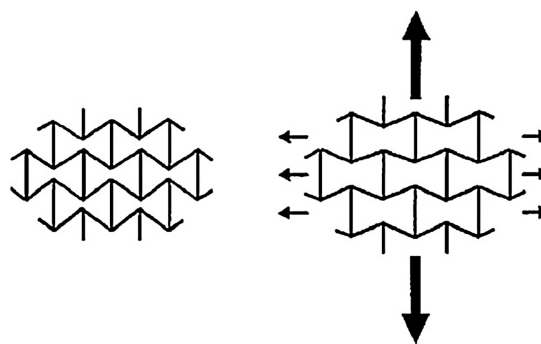
این که یک ماده تا چه حد آگرتیک باشد بستگی به فعل و انفعال این دو ویژگی دارد.

در مطالعه‌ی انجام شده توسط کارنیرو^[۴]، ضمن ارائه‌ی توضیحاتی در مورد ویژگی‌ها و ساختارهای مختلف مواد آگرتیک، ابتدا ساختار مختلفی که یک ماده را آگرتیک می‌کنند نشان داده شده است. ساده‌ترین این ساختارها ساختار ری - اینترنت^۱ است که می‌توان شکل و نحوه‌ی کار آن را در شکل ۱ مشاهده کرد.

با شروع ساختن این فوم‌ها، کاربردهای این مواد رو به افزایش گذاشت و از جمله کاربردهای زیادی در زمینه‌ی ورزشی پیدا شد.^[۵] ویژگی جذب بالای انرژی در این



شکل ۲. مراحل و دو فاز اساسی پرش عمودی.



شکل ۱. ساختار ری = اینترنت و نحوه آگزتیک بودن این ساختار.

بزرگ تر شود دقیقاً مثل یک ریسمانی که کشیده می شود. اما عضله نیروی دیگری نیز دارد که ناشی از واکنش های شیمیایی و ولتاژ تولید شده به دلیل آن واکنش هاست و آن وقتی است که فرد به طور خود آگاه عضله خود را منقبض می کند. بیشینه نیرویی که عضله می تواند در یک طول خاص تولید کند برابر مجموع نیروی غیر فعالی است که عضله در آن طول تولید می کند به علاوه بیشینه نیروی فعالی که در هر طولی می تواند تولید کند.

در اصل از آنجا که در تحقیقات بیشترین تشیی را که عضله می تواند تحمل کند معادل ۶/۰ مگا پاسکال در نظر می گیرند و سطح مقطع فیزیولوژیکی هر یک از عضلات نیز مشخص است، برای یافتن نیروی هر عضله در حین انجام یک فعالیت خاص نیاز به یافتن ضریب φ است که آن را از طریق آزمایش های الکترومایوگرافی (EMG) ^۳ مشخص می کنند. در این روش، از الکترودهایی روی پوست شخص استفاده می شود که ولتاژ تولیدی عضله را دریافت می کنند. حال در صورت امکان باید میزان ولتاژی را که عضله در آن می تواند بیشترین نیرو را تولید کند، به دست آورد. نسبت ولتاژ تولیدی عضله در یک فعالیت خاص به حداکثر فعالیت عضله برابر با ضریب φ خواهد بود که رابطه ای این نسبت با نسبت نیروی عضله به بیشترین نیروی تولیدی عضله، خطی در نظر گرفته می شود؛ یعنی مقدار ضریب φ برابر با میزان فعالیت عضله است.

در ناحیه ای کمر و شکم عضلات متعددی وجود دارند. به طور کلی عضلات کمری وظیفه ای اکستنسوری ^۴ و عضلات شکمی وظیفه ای فلکسوری ^۵ دارند، اگر چه هر دو این دسته عضلات در حرکات چرخشی نیز فعالیت می کنند. در آزمایش ها و آزمون هایی که فعالیت های اکستنسوری و فلکسوری بیشتر دخیل اند، محققان مهم ترین عضلاتی را که در این فعالیت نقش دارند، بررسی می کنند. همچنین در ستون فقرات یکی از مهمترین دیسک ها، دیسک لومبوساکرال است که کمر دردهای متداول معمولاً در محل این دیسک عارض می شود.

در این پژوهش از آزمون پرش عمودی استفاده کردیم. در این آزمون از شخص خواسته می شود که بر روی یک جعبه بایستد پس از آن شخص باید بدون این که ببرد بر روی زمین فرود بیاید و پس از آن یک پرش عمودی با بیشترین توان خود انجام دهد. ^[۱۲] این آزمون از ۳ قسمت عمده تشکیل شده است (شکل ۲).

- بعد از فرود (AL): این قسمت از زمانی محاسبه می شود که پس از فرود از سکو پای شخص با زمین برخورد می کند و زمانی تمام می شود که پای شخص از زمین برای پرش به طور کامل جدا می شود. در طول این مرحله زمانی که مرکز جرم شخص در پایین ترین مکان خود قرار می گیرد و سرعت حرکت عمودی آن نیز صفر می شود از اهمیت خاصی برخوردار است و این نقطه، نقطه ای انقباض حداکثری نامیده می شود.

مواد، سازندگان را به استفاده از این مواد در کفش ها تشویق کرد و به این ترتیب، کفش هایی با کفی آگزتیک ساخته شد. ^[۶]

در مطالعات متعددی، رابطه ی کفش ها و مواد مختلف موجود در آنها با سینماتیک ستون فقرات بررسی شده است؛ از جمله «مطالعه ی تأثیر کفش های ناپایدار بر سینماتیک ستون فقرات» ^[۷]، «مطالعه ی تأثیر کفش های ناپایدار بر پارامترهای سیکل گیت» ^[۸]، یا «مطالعه ی تأثیر کفش آفلودر بر پارامترهای سیکل گیت» ^[۹]

علاوه بر موارد فوق، از آزمون پرش عمودی برای ارزیابی تأثیر کفش بر پارامترهای زیست مکانیکی در مطالعات مربوط به کار بردهای ورزشی استفاده شده است. برای مثال، سختی لایه ی میانی به عنوان یک عامل متغیر در مطالعه ی آلونزو و همکاران، به منظور طراحی کفش مناسب برای ورزش بسکتبال مورد بررسی قرار گرفت. ^[۱۰] نتایج نشان داد که یک لایه ی میانی نرم تر می تواند باعث افزایش بیشینه نیروی جلاوی پا و کاهش بیشینه نیروی عقب پا شود. ضمن این که ایجاد لایه ی میانی نرم باعث کاهش بیشترین ممان های فلکشن در مفاصل مچ و لگن شد.

همچنین، در یک پتنت از شرکت نایک ^[۱۱] کفشی با لایه ی میانی آگزتیک توصیف شده است که به دلیل خاصیت شکل پذیری خوب و توانایی جذب انرژی بالای ساختار آگزتیک مورد استفاده، ادعا شده است که این کفش ها از راحتی خوبی برخوردار هستند. نام این کفش Nike Free Rn است که در سال ۲۰۱۷ برای اولین بار وارد بازار شده است.

چنان که پیش تر گفته شد، در بدن انسان ستون فقرات عضوی است که بیشتر از بقیه ی قسمت های بدن در معرض آسیب های مکانیکی قرار می گیرد. ^[۱۱] و ^[۱۲] به طوری که آمار کمردرد، بیشترین درد گزارش شده در سال ۲۰۱۸ است. ^[۱۳] بنا بر این با توجه به اهمیت بررسی تأثیر کفش آگزتیک بر سینماتیک ستون فقرات و عدم مطالعه ی پیشین در این حوزه، به بررسی آن می پردازیم. مطالعات بسیار زیادی برای بررسی تأثیر کفش های مختلف بر سینماتیک و سینتیک ستون مهره ها - به خصوص در ناحیه ی لومبار - انجام گرفته است، ولی تأثیر کفش های آگزتیک بر سینماتیک و ستون مهره هنوز بررسی نشده است.

در این مطالعه سعی می شود نیروهای عضلات کمری شکمی، نیروی واکنش زمین، مرکز فشار نیروی واکنش زمین، نیروهای فشاری و برشی دیسک لومبوساکرال (L۵-S۱) برای فرد سالم در کوتاه مدت و در حین انجام پرش عمودی محاسبه شود و از روی این داده ها میزان تأثیر این کفش ها محاسبه شود.

به طور کلی نیروی عضله به دو قسمت تقسیم می شود:

- نیروی فعال؛
- نیروی غیر فعال

نیروی غیر فعال عضله وقتی رخ می دهد که طول عضله از طول حالت استراحت آن



شکل ۳. کفش آگزتیک در پایین و کفش عادی در بالا.

برای این که مختصات مارکرهای متصل به بدن شخص به درستی و با دقت اندازه‌گیری شود لازم است در جهات مختلف از شخصی که در حال انجام فعالیت هست فیلم برداری شود. با استفاده از این فیلم برداری مختصات هر مارکر در طول زمان به دست خواهد آمد. لازم به ذکر است فرکانس داده برداری دوربین‌های مادون قرمز مورد استفاده ۱۲۰ هرتز است.

برای به دست آوردن نیروی واکنش زمین از دو صفحه نیرو استفاده شده است که فرکانس داده برداری آن نیز ۱۲۰ هرتز بوده است. شخص باید طوری بپرد که حتماً کف پایش به طور کامل روی یک صفحه نیرو قرار بگیرد. همچنین پای کناری نیز روی صفحه دیگری قرار بگیرد تا داده‌ها دقیق باشند؛ زیرا اگر پاها کامل بر روی صفحه قرار نگیرند صفحه نیرو نمی‌تواند به درستی نیروی واکنش زمین را بخواند. هرچند، اشخاص نباید برای این که این کار را انجام دهند نحوه‌ی انجام آزمون‌ها را تغییر دهند. به همین دلیل، به اشخاص این موضوع گفته نشد و اجازه داده شد که آنها آزمون پرش عمودی را آزادانه انجام دهند فقط به آنها نحوه‌ی انجام آزمون توضیح داده شد. در مواقعی که خطایی از اشخاص سر زد و پای آنها به طور کامل بر روی صفحه نیرو قرار نگرفت آزمایش دوباره تکرار شد.

شرایط استفاده از این الکترودها عبارت است از:

- سطح پوست شخص باید کاملاً تمیز و اصلاح شده و بدون مو باشد.
- مکان الکترودها دقیقاً باید روی حجم اصلی عضله و در راستای طولی آن قرار بگیرد.
- قبل از گرفتن فعالیت، سطح پوست باید با سمباده‌ی مخصوص تمیز شود.
- قبل از گرفتن فعالیت، سطح پوست باید با الکل تمیز شود.
- برای هر شخص از ۱۲ کانال EMG استفاده شده است و فعالیت عضلات لانجیسیموس، ایلوکوستالیس، مولتیفیدوس، رکتوس ابدامینوس و مایل داخلی و خارجی اندازه‌گیری شده است.
- همچنین بیشترین فعالیت هر عضله نیز باید در یک آزمایش جداگانه به دست بیاید؛ شرایط انجام این آزمایش‌ها عبارت است از:
- برای عضلات لانجیسیموس، الکترودها در فاصله‌ی ۲ انگشتی ستون مهره‌ها و هم‌عرض با مهره‌ی L۱ قرار می‌گیرند.
- برای عضلات ایلوکوستالیس، الکترودها در محل تقاطع خط گذرنده از پایین‌ترین نقطه‌ی دنده و نقطه‌ی PSIS هم‌عرض با مهره‌ی L۲ قرار می‌گیرند.
- برای عضلات مولتیفیدوس، الکترودها در ۲ الی ۳ سانتی‌متری در عرض مهره‌ی L۵ قرار می‌گیرند.
- برای عضلات رکتوس ابدامینوس، الکترودها در ۲ سانتی‌متری کنار ناف قرار می‌گیرند.

• پرش^۷: این فاز از زمانی آغاز می‌شود که پای شخص از زمین جدا می‌شود تا لحظه‌ی که دوباره اولین تماس پای شخص با زمین برقرار می‌شود.

• بعد از پرش (AJ): این فاز از زمانی آغاز می‌شود که پس از پرش پای شخص با زمین تماس برقرار می‌کند و زمانی تمام می‌شود که شخص به حالت سینماتیک و سینتیک عادی خود بازمی‌گردد.

پس از انجام آزمایشات زیست‌مکانیکی برای مقایسه‌ی داده‌ها در حالات مختلف، انجام یک سری آزمون‌های آماری ضروری است. در این تحقیق از دو تحلیل آماری آزمون مقایسه‌ی واریانس‌های ANOVA^۸ با بازه اطمینان ۹۵ درصد و آزمون مقایسه‌ی میانگین‌های توکی Tukey^{۱۰} به طور کلی استفاده شده است.

۲. مواد و روش

در تحقیق پیش‌رو از ۱۱ نفر خواسته شد که در ۳ حالت با کفش آگزتیک، کفش معمولی و پای برهنه آزمون پرش عمودی را انجام دهند. در حین انجام آزمون‌ها، به هر فرد ۴۵ مارکر متصل شد که مختصات آنها توسط دوربین‌های مادون قرمز ثبت شد. فعالیت ۶ عضله‌ی کمری و شکمی نیز توسط ۱۲ کانال الکترومایوگرافی ثبت شد. بعضی از داده‌های آزمایش‌ها، مانند فعالیت عضلات به طور مستقیم مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند و بقیه با کمک تحلیل‌گرهای موجود.

در قسمت داده برداری ۱۱ شخص را به محل آزمایشگاه برده و در حالی که به آنها الکترودهای الکترومایوگرافی و مارکر چسبانده شده، از آنها خواسته می‌شود که آزمون پرش عمودی را از سکویی ۳۴ سانتی‌متری انجام دهند. برای این که آزمون‌ها دقیق و با کم‌ترین خطای ممکن باشد لازم است شرایط ثابت و مشخصی وجود داشته باشد. این شرایط و الزامات عبارت‌اند از:

تعداد موضوع‌ها ۱۱ مرد بوده و میانگین سن افراد $23/6 \pm 0/5$ سال بوده است. با توجه به کفش آگزتیک که خریداری شده، لازم است سایز پای اشخاص ۴۳ باشد. همچنین شاخص توده بدن آنها بین ۱۹ و ۲۴ ($23/6 \pm 1/2$) و میانگین قد افراد ۱۷۵/۳ سانتی‌متر با انحراف معیار ۵/۳ سانتی‌متر بوده است. میانگین وزن افراد نیز ۷۶۸/۵ نیوتن با انحراف معیار ۹۹/۴ نیوتن بوده است. اشخاص از تفاوت کفش‌ها آگاه نبوده‌اند و نمی‌دانستند که کدام کفش آگزتیک و کدام یک عادی است. همچنین در حین انجام آزمون‌ها به صورت تصادفی، حالات مختلف را انجام داده‌اند. چنان که گفته شد کفش‌ها در سایز ۴۳ تهیه شده است ولی کفش باید نه برای شخص تنگ باشد و نه این که پای شخص درون کفش لقی بخورد؛ باید بتواند به راحتی از کفش استفاده کند. همچنین علاوه بر کفش آگزتیک کفش عادی اسپورت نیز باید تهیه شود تا شرایط برای همه‌ی افراد یکسان باشد (شکل ۳). کفش آگزتیک تهیه شده محصول کمپانی نایک و مدل فری‌ران^{۱۱} است.

در مورد ویژگی‌های ظاهری کفش‌ها این نکته رعایت می‌شود که هر دو کفش از لحاظ ظاهری شبیه به یکدیگر بوده و کاملاً یکسان باشند. همچنین لازم به ذکر است که اشخاص درون هر دو کفش راحتی یکسانی را تجربه کرده‌اند و با استناد به گفته‌ی آنها هر دو کفش نرمی یکسانی داشته‌اند. برای این که آزمون‌ها با مدل‌سازی تطابق داشته باشد مارکرها نباید لقی باشند و باید به درستی در مکان مورد نظر چسبیده شده باشند.

در نهایت تعداد ۴۵ مارکر روی بدن اشخاص چسبانده شد که علاوه بر ۳۹ مارکر مورد نیاز، ۶ مارکر روی زانو، مچ پا و انگشت کوچک پا نیز متصل شد (هر طرف یک مارکر).

• برای عضلات کمری، شخص به شکم خوابانده می‌شود به طوری که نیم تنه‌اش از تخت بیرون باشد. سپس وزنه‌ی متناسب با وزن او روی کمر در قسمت توراسیک قرار می‌دهیم تا فعالیت عضله خوانده و ضبط شود.

• برای عضلات مایل خارجی، الکترودها در بالای زانده‌ی ASIS به طور مایل در فاصله‌ی بین ASIS و دنده‌ها قرار می‌گیرند.

• برای عضله‌ی رکتوس نیز همین کار را به صورت عکس انجام می‌دهیم. این بار وزنه به دست شخص داده خواهد شد تا آن را جلو صورتش بگیرد.

• برای عضلات مایل داخلی و خارجی، همین کار انجام خواهد شد با این تفاوت که شخص باید به یک سمت مایل شود. برای عضله‌ی مایل داخلی سمت راست و خارجی سمت چپ شخص باید به سمت چپ منحرف شود؛ برای عضله‌ی داخلی سمت چپ و خارجی سمت راست نیز شخص باید به سمت راست منحرف شود.

پس از آن که آزمایشات انجام شد و بیشینه فعالیت عضلات به دست آمد، با فیلتر کردن داده‌های الکترومایوگرافی مقادیر به دست آمده از الکترودها را بر بیشترین مقدار موجود در آزمایشات MVC تقسیم کرده تا فعالیت عضله در هر لحظه به دست آید.

فرد باید آزمایش را با دقت و به گونه‌ی انجام دهد که انگار در حالت عادی و خارج از محیط آزمایشگاه است. پس اصلاً الزاماتی نظیر صفحه نیرو و ... به او گوشزد نمی‌شود؛ اما نکاتی که باید رعایت شود عبارت‌اند از:

- فرد از ارتفاع نباید بپرد بلکه باید فرود بیاید.
 - شخص بلافاصله پس از رسیدن به زمین باید دوباره بپرد و نباید تعللی در این زمینه رخ دهد.
 - دست‌های شخص آزاد است تا هر حرکتی که می‌خواهند انجام دهند و در این مورد هیچ‌گونه محدودیتی وجود ندارد.
 - هر پای شخص باید به طور کامل روی یک صفحه نیرو قرار بگیرد.
 - در مورد تعداد آزمایشات، باید آزمایش آن قدر تکرار شود تا در هر حالت، دست کم ۳ آزمایش صحیح و بدون ایراد ثبت شود.
- در انتها نیز آزمون کنترل نهایی قبل از شروع تحلیل‌ها صورت گرفت.

۳. تحلیل‌های عددی و آماری

هر آنچه در قسمت‌های قبلی به عنوان خروجی بیان شد، باید بین حالات مختلف کفش آگزیس، کفش عادی و پای برهنه مقایسه و تحلیل شود. برای مقایسه‌ی آماری هر متغیر، ابتدا تحلیل واریانس مکرر ANOVA^{۱۲} گرفته می‌شود و اگر برای آن متغیر مقدار متغیر پی از ۵٪/۰ کم‌تر بود (با اطمینان بیش از ۹۵ درصد تفاوت معنادار بین حالات مختلف وجود داشت) با انجام تحلیل Tukey مشخص می‌شود که آن متغیر در کدام حالت به طور معنادار میانگین کم‌تر و در کدام حالت میانگین بیشتری داشته است.

در تحلیل ANOVA دو عامل تعریف می‌شود: ۱. حالات مختلف (۳ سطح)؛ ۲. موضوع (۱۱ سطح). حالات مختلف به صورت ثابت تعریف می‌شود به این معنا که مطلقاً همین سه عامل وجود دارد؛ اما موضوع‌ها به صورت متغیرهای تصادفی تعریف می‌شوند به این معنی که این ۱۱ شخص به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.

پس از انجام آزمون تحلیل واریانس ANOVA نیاز است که کفایت آزمون مورد بررسی قرار گیرد. کفایت آزمون به این معناست که فرضیاتی که آزمون بر اساس آنها انجام شده است درست و برقرار باشند. در آزمون ANOVA سه فرض ابتدایی مفروض است:

- توزیع، نرمال و یا نزدیک به نرمال است.
- مشاهدات و نتایج آزمایش‌ها از یکدیگر مستقل‌اند.
- واریانس در حالات مختلف یکسان است.

برای بررسی برقراری این فرضیات و به عبارتی بررسی کفایت آزمون، برای هر آزمون ۴ نمودار رسم می‌شود (شکل ۴). نمودار ۴ الف یکسان بودن واریانس‌ها را بررسی می‌کند، هر چه تغییرات در مقدارهای برازش شده مشابه باشد واریانس‌های حالات مختلف به یکدیگر نزدیک‌ترند. نمودار ۴ ب نرمال بودن توزیع را بررسی می‌کند، هر چه داده‌ها روی خط مستقیم باشند توزیع به توزیع نرمال نزدیک‌تر است. نمودار ۴ ج مستقل بودن نتایج از یکدیگر را بررسی می‌کند، هر چه داده‌ها پراکنده‌تر باشد نشان از مستقل بودن داده‌ها دارد. همچنین، نمودار ۴ د نمودار فراوانی داده‌ها برحسب مقادیر باقی‌مانده (اختلاف بین داده‌ها و مقدار میانگین) است که به توزیع نرمال شباهت دارد.

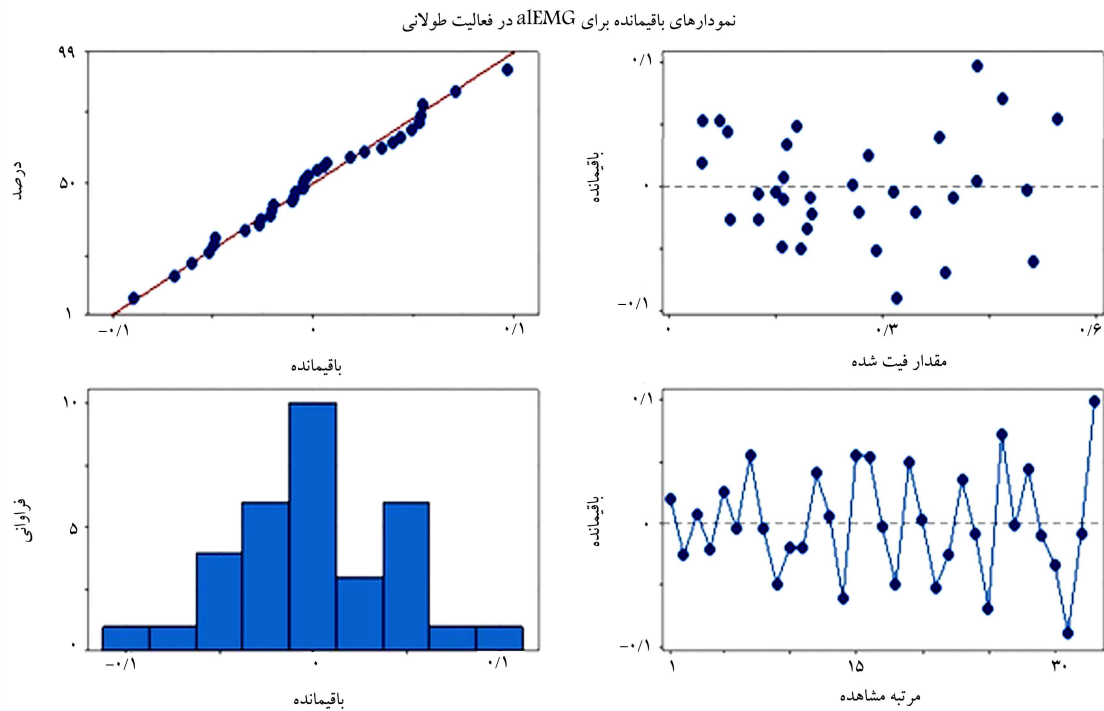
آزمون مقایسه‌ی میانگین‌های Tukey نیز روی عامل حالات مختلف انجام خواهد پذیرفت تا مشخص شود کدام حالت میانگین کم‌تر و کدام حالت میانگین بیشتری داشته است. ابتدا نتایج آزمون کنترل که همان چرخه‌ی گیت است مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه تأثیر استفاده از کفش‌های آگزیس بررسی می‌شود. متغیرهایی که مورد مقایسه و بررسی قرار خواهند گرفت عبارت‌اند از:

۱. نتایج آزمون کنترل.
۲. فعالیت عضلات به دست آمده از EMG.
۳. نیروی عمودی واکنش زمین.
۴. مرکز فشار نیروی واکنش زمین.
۵. سینماتیک پایین تنه.

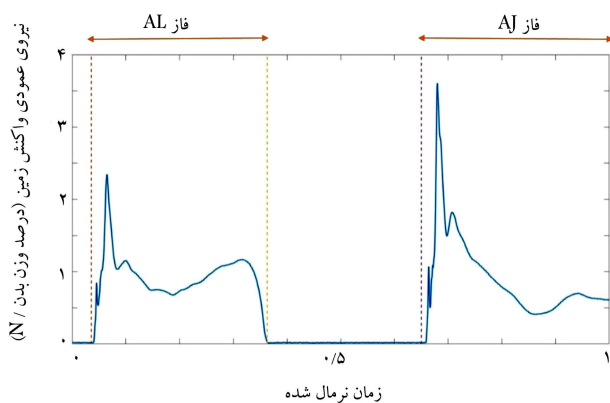
«فاز بررسی متغیرهای مورد بررسی» نکته‌ی است که باید به آن دقت شود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، آزمایش پرش عمودی سه فاز مهم دارد. چون در فاز دوم و در زمان پرواز بسیاری از متغیرها (مانند نیروی واکنش زمین) صفر هستند و عملاً نمودارهای متغیرهای بیان شده اکسیرمی ندارند از تحلیل متغیرها در این فاز صرف‌نظر می‌شود. تحلیل‌ها در فاز اول آزمایش (فاز AL) و فاز سوم آزمایش (فاز AJ) نیز انجام خواهد شد. سپس فعالیت عضلات در حین انجام آزمون پرش عمودی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حین انجام هر فعالیتی نمودار فعالیت عضلات مختلف بدن با یکدیگر فرق می‌کند ولی در حین انجام آزمون پرش عمودی فعالیت عضلات کمری و شکمی مانند ایلوکوستالیس، لانجیسیموس، مولتیفیدوس و رکتوس ابدامینوس تقریباً شبیه یکدیگرند.

در این قسمت فعالیت ۴ عضله‌ی مورد بررسی در حین پرش عمودی بررسی خواهد شد، ولی برای بررسی فعالیت عضلات از مفهومی به نام «میانگین جمعیتی فعالیت عضله^{۱۳}» استفاده خواهد شد. این مفهوم که نشانه‌ی فعالیت عضله در یک بازه زمانی است، در اصل مقدار میانگین تابع فعالیت عضله - زمان است که محققان در مطالعات خود از آن استفاده کرده‌اند.^[۱۵]

در ادامه، میانگین فعالیت چهار عضله‌ی مورد بررسی، در دو حالت پس از فرود و پس از پرش مورد بررسی قرار داده شد. گفتنی است این اعداد، نتایج حاصل



شکل ۴. نمودارهای بررسی کفایت آزمون ANOVA برای تحلیل‌های انجام شده بر روی میانگین فعالیت عضله لانجیسیموس پس از فرود از سکو.



شکل ۵. نیروی عمودی واکنش زمین در طول کل آزمایش پرش عمودی.

شد که در مقدار میانگین، فعالیت عضله‌ی ایلوپوکوستالیس برای کفش آگرتیک از دو حالت دیگر کم‌تر است.

به طور کلی نتیجه‌ی تحلیل میانگین‌ها این بود که کفش آگرتیک سبب فعالیت کم‌ترین عضلات می‌شود، که همین امر سبب کاهش نیروی فشاری دیسک L5-S1 می‌شود.

از سوی دیگر با مقایسه‌ی فعالیت عضلات مختلف این نتیجه منتج می‌شود که عضله‌ی ایلوپوکوستالیس از عضله‌ی لانجیسیموس فعالیت بیشتری داشته است. این می‌تواند به دلیل این موضوع باشد که عضله‌ی لانجیسیموس عضله‌ی حجیم‌تری است و برای ایجاد پایداری و نیرو نیاز به فعالیت کم‌تری دارد. نیروی عمودی واکنش زمین در حین انجام آزمون پرش عمودی نموداری مانند آنچه در زیر قابل مشاهده است پیدا می‌کند (شکل ۵).

این نمودار که نیروی عمودی وارده به زمین را در حین انجام آزمون نشان می‌دهد به سه قسمت تقسیم می‌شود:

از الکترومادهای الکترومایوگرافی است که از نمودار فعالیت - زمان در طول آن بازه میانگین گرفته شده است. این اعداد میانگین فعالیت عضله است که بر پیشینه فعالیت عضله نرمال شده است. بیشترین فعالیت عضله در آزمون MVC از هر شخص و به طور جداگانه برای هر عضله گرفته شده است.

پس از انجام آزمون‌ها روی حالات مختلف بعد از فرود و بعد از پرش و برای عضلات مختلف در دو مورد تفاوت معناداری بین میانگین فعالیت عضلات مشاهده شد؛ این دو حالت عبارت‌اند از:

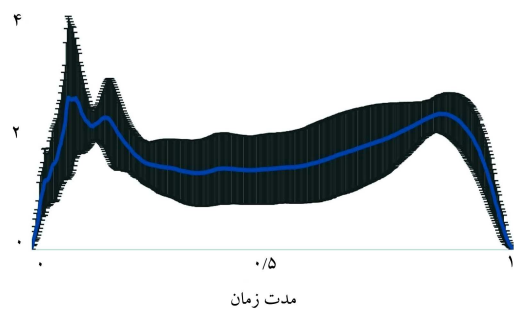
- فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس پس از فرود از سکو.
- فعالیت عضله‌ی ایلوپوکوستالیس پس از فرود از سکو.

پس از انجام آزمون ANOVA روی میانگین فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس برای افراد مختلف جدولی حاصل شد. در این جدول مقدار پی برای حالت‌های مختلف صفر به دست آمده است، که بدین معناست که به طور قطع تفاوت معناداری بین داده‌ها مشاهده می‌شود.

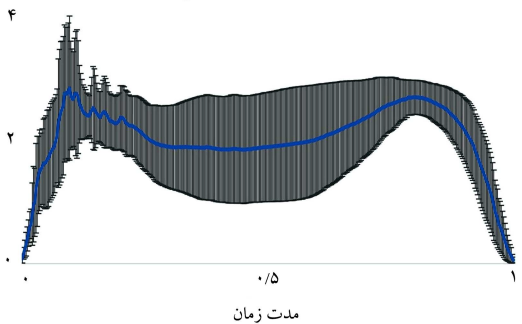
پس از اطمینان از معنادار بودن تفاوت به مقایسه‌ی میانگین حالت‌های مختلف پرداخته شد. در این جا از آزمون Tukey برای مقایسه‌ی میانگین‌ها استفاده شده است مشاهده شد که مقدار میانگین فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس برای کفش آگرتیک از دو حالت دیگر کم‌تر است.

همچنین تفاوت میانگین عضله‌ی لانجیسیموس در حالات پابرنه و با کفش عادی با وقتی که شخص کفش آگرتیک به پا کرده است معنادار توصیف شده است. این بدان معناست که عضله‌ی لانجیسیموس زمانی که شخص کفش آگرتیک به پا می‌کند فعالیت کم‌تری از خود نشان می‌دهد.

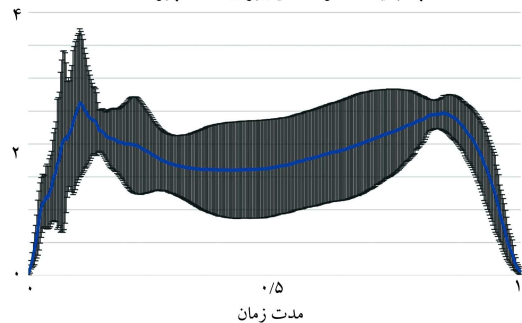
پس از انجام آزمون ANOVA روی میانگین فعالیت عضله‌ی ایلوپوکوستالیس برای افراد مختلف نیز تفاوت‌های معناداری مشاهده شد و با انجام روند پیشین مشاهده



الف) با یک انحراف معیار برای کفش آگرتیک؛



ب) با یک انحراف معیار برای حالت پابرهنه؛



ج) با یک انحراف معیار برای حالت کفش عادی.

شکل ۶. نیروی واکنش زمین پس از فرود از سکو (AL).

در شکل ۷ (نمودارهای - الف، - ب و - ج) میانگین فاصله‌ی انتریور- پوسترور مرکز فشار نیروی واکنش زمین تا پاشنه‌ی پا در سه حالت کفش عادی، کفش آگرتیک و پابرهنه با یک بازه انحراف معیار نشان داده شده است. مقادیر در راستای زمان برای افراد مختلف یکسان شده و سپس میانگین و انحراف معیار در هر زمان محاسبه و در آخر نمودار رسم شده است. یادآور می‌شود نمودارهای شکل ۷ از داده‌های ۱۱ شخص مختلف که در آزمایشگاه از آنها به طور جداگانه آزمایش پرش عمودی گرفته شده، استخراج شده است. کل بازه زمانی که در نمودارهای شکل ۷ استفاده شده، از زمانی است که پای شخص پس از فرود از روی سکو به زمین برخورد کرده تا زمانی که پاهای وی از سکو برای انجام پرش عمودی کاملاً جدا شده است (فاز AL). همچنین محور عمودی نمودارها بر اساس میلی‌متر است. این محور بدان علت به عددی مانند طول پای اشخاص نرمال نشده که همگی اشخاص از یک کفش استفاده کرده‌اند، پس طول پای همه‌ی آنها یکسان بوده است؛ در نتیجه دلیلی بر نرمال کردن این پارامتر وجود نداشته است.

چنان که در شکل ۷ مشاهده شد، مقدار کمیته‌ی فاصله‌ی انتریور- پوسترور مرکز فشار برای کفش آگرتیک از دو کفش دیگر کم‌تر است. حال برای هر شخص نیز

- بازه زمانی پس از ورود شخص روی صفحه‌ی نیرو که دارای یک پیک نیرویی در ابتدای خود است تا ابتدای پرش شخص (فاز AL).
 - بازه زمانی که شخص در حال پریدن قرار دارد و مقدار نیرو در این زمان طبیعتاً برابر با صفر است.
 - بازه زمانی پس از پرش که شخص روی صفحه‌ی نیرو قرار می‌گیرد که دارای یک پیک نیرویی (به طور کلی بیشتر از پیک اولی) است (فاز AJ).
- در شکل ۶ (نمودارهای ۶ - الف، ۶ - ب، ۶ - ج) میانگین نیرو واکنش زمین در ۳ حالت کفش عادی، کفش آگرتیک و پابرهنه با یک بازه انحراف معیار نشان داده شده است.

مقادیر نیرویی برای اشخاص مختلف ابتدا به وزن هر نفر نرمال شده است و سپس در راستای زمان یکسان شده‌اند و سپس میانگین و انحراف معیار در هر زمان محاسبه شده‌اند و در آخر نمودار کشیده شده است. همچنین لازم به ذکر است نمودارهای زیر از داده‌های ۱۱ شخص مختلف که در آزمایشگاه از آنها به طور جداگانه آزمایش پرش عمودی گرفته شده است استخراج شده است. کل بازه‌ی زمانی که در نمودارهای زیر استفاده شده است از زمانی است که پای شخص پس از فرود از روی سکو به زمین برخورد کرده است تا زمانی که پاهای وی از سکو برای انجام پرش عمودی کاملاً جدا شده‌اند.

روند کلی هر سه نمودار شکل ۶ شبیه به هم است و تفاوت خاصی بین آنها مشاهده نمی‌شود.

در قسمت بعدی مرکز فشار نیروی واکنش زمین^{۱۴} پس از فرود از سکو، در حین آزمون پرش عمودی، بررسی شد. این پارامتر تأثیر مهمی در نیروی وارد به دیسک‌های مفاصل کمر و به طور کلی مفاصل دارد. تأثیر این عامل بر نیروهای گفته شده به این دلیل است که تغییر مرکز فشار سبب تغییر بازوی گشتاور نیروی واکنش زمین می‌شود که می‌تواند به خودی خود نیرو را در دیسک تحت تأثیر قرار دهد. در این گزارش مرکز فشار وارد به کف پا نسبت به خط واصل پاشنه به انگشت شست پا بررسی شد، به این معنا که در هر لحظه مارکر پاشنه^{۱۵} را به مارکر انگشت شست پا^{۱۶} وصل کرده و از این خط به عنوان محور مختصات استفاده می‌شود. مبدأ مختصات مارکر پاشنه در نظر گرفته می‌شود؛ مختصات مرکز فشار نیز با دو پارامتر تعیین می‌شود:

- فاصله‌ی انتریور- پوسترور تا پاشنه‌ی پا^{۱۷}؛
- فاصله‌ی مدیو- لترال تا پاشنه‌ی پا^{۱۸}

به دلیل متقارن بودن دو پا نسبت به مرکز بدن و به دلیل متقارن بودن حرکت و یکسان بودن دو پا، جابه‌جایی مدیو لترال مرکز فشار نیروی واکنش زمین تأثیری روی بازوی گشتاور برآیند این دو نیرو ندارد زیرا تقارن این جابه‌جایی را خنثی می‌کند. پس فقط جابه‌جایی انتریور- پوسترور بررسی می‌شود و تأثیر حالات مختلف (کفش آگرتیک، کفش عادی و پابرهنه) روی این عامل مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در تحلیل مرکز فشار ابتدا نموداری از فاصله‌ی انتریور- پوسترور مرکز فشار نیروی واکنش زمین از زمان فرود شخص از سکو تا زمانی که شخص از صفحه‌ی نیرو به طور کامل جدا می‌شود، ارائه می‌شود. پس از آن، همین نمودار با یک مقدار میانگین و انحراف معیار برای حالات مختلف پوشش پا کشیده می‌شود و در آخر تحلیل‌های آماری روی این پارامتر برای حالات مختلف انجام خواهد شد تا تأثیر کفش آگرتیک بر فاصله‌ی انتریور- پوسترور مرکز فشار به دست آید. لازم به ذکر است تمامی تحلیل‌ها و نمودارهای مرکز فشار برای زمان پس از فرود (فاز AL) ارائه خواهد شد و تحلیل‌های آماری شامل تحلیل واریانس‌ها با استفاده از آزمون ANOVA و تحلیل میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey خواهد بود.

آگزتیک پوشیده است، نسبت به دو حالت دیگر، فعالیت کمتری از خود نشان دهند.

در تحلیل پرش عمودی به بررسی و تحلیل ۴ درجه آزادی اصلی پایین تنه، یعنی تغییر زوایای لگن، ران، زانو و مچ پا پرداخته شد؛ به این صورت که برای هر کدام از حالات بعد از فرود از سکو و بعد از پرش (۲ حالت) در هر ۳ حالت مورد بررسی (کفش عادی، کفش آگزتیک و پابرهنه) نمودارهای میانگین تغییر این زوایا به همراه یک انحراف معیار ارائه شد.

در شکل ۸ درجات آزادی پایین تنه بر اساس زمان ترسیم شده است. هر شکل نمودارهای یک درجه آزادی مشخص را در بر دارد. نمودارها برای هر سه حالت کفش عادی، کفش آگزتیک و پابرهنه با یک بازه انحراف معیار ترسیم شده است. نمودارهای آبی رنگ، نمودار اصلی (مقدار میانگین برای افراد مختلف) و خطوط قرمز بازه‌های انحراف معیار را مشخص می‌کنند. در هر شکل نمودار سمت راست برای فاز A1 و نمودار سمت چپ برای فاز A2 است. واحد عمودی نمودارها درجه و محور افقی آنها نیز نسبت به عدد ۱ اندازه‌گیری شده است.

برای تمامی نمودارها فلکشن مثبت و اکستنشن منفی در نظر گرفته می‌شود. در تمامی نمودارها مقدار صفر برای حالتی است که آن درجه‌ی آزادی در حالت استراحت زیست‌مکانیکی خود قرار دارد. نکات مشاهده شده در نمودارها عبارت‌اند از:

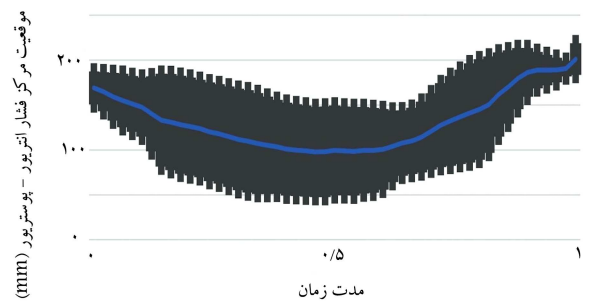
- در همه‌ی نمودارهای پس از فرود از سکو (فاز A1)، نمودار از مقداری شروع شده، به اکسترتم رسیده و سپس به مقدار اولیه‌ی خود بازگشته است.
- زمان انجام این مقدار اکسترتم در همه‌ی نمودارها تقریباً یکسان است. یعنی شخص قبل از پرش و بعد از فرود در لحظه‌ی بدن خود را به طور کامل جمع کرده و سپس پریده است.
- زمان وقوع مقدار اکسترتم همان زمانی است که مقدار فعالیت عضلات و نیروی مفصلی دیسک لومبوساکرال بیشینه شده است (نقطه‌ی انقباض حداکثری).
- برای بررسی بهتر و دقیق‌تر باید این مقادیر اکسترتم برای هر شخص و در هر حالت محاسبه شود و مورد تحلیل آماری قرار گیرد تا مشخص شود که آیا کفش آگزتیک تأثیری بر سینماتیک شخص داشته است یا خیر.

پس از مشاهده‌ی نمودارها مقادیر اکسترتم، درجات آزادی در هر کدام از حالات و برای هر شخص محاسبه شد و زمان وقوع آنها پس از فرود شخص از روی سکو و هم‌زمان با زمانی است که شخص بیشترین فعالیت عضلانی خود را دارد.

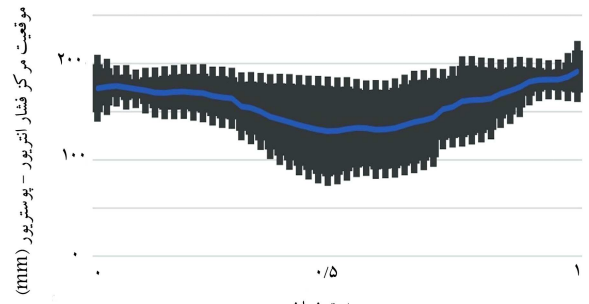
سپس مقادیر به دست آمده تحلیل شدند، به این صورت که برای هر کدام از درجات آزادی یک آزمون ANOVA گرفته شد تا مشخص شود حالت‌های مختلف پوشش با تأثیری بر مقدار اکسترتم درجه آزادی مورد نظر داشته یا خیر و در نهایت تحلیل واریانس ANOVA برای هر کدام از درجات آزادی به طور جداگانه انجام شد.

از نتایج به دست آمده مشخص شد که مقادیر اکسترتم مفاصل ران، زانو و مچ پا در حالات مختلف پوشش با اختلاف معناداری با یکدیگر دارند. در نهایت نتایج تحلیل میانگین‌ها که با استفاده از روش Tukey به دست آمده بود بررسی شد.

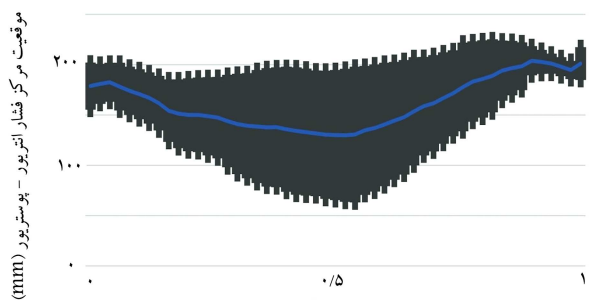
نتیجه‌ی تحلیل میانگین‌های مفصل ران نشان داده که بیشترین فلکشن مفصل ران در حالت آگزتیک از دو حالت دیگر بیشتر است. یعنی وقتی شخص کفش آگزتیک به پا می‌کند با احتمال ۹۵ درصد می‌توان گفت که مفصل ران پس از فرود از سکو، فلکشن بیشتری نسبت به وقتی که فرد کفش عادی به پا کرده یا پابرهنه است، انجام خواهد داد.



الف) شخص کفش آگزتیک پوشیده است؛



ب) شخص پابرهنه بوده است؛



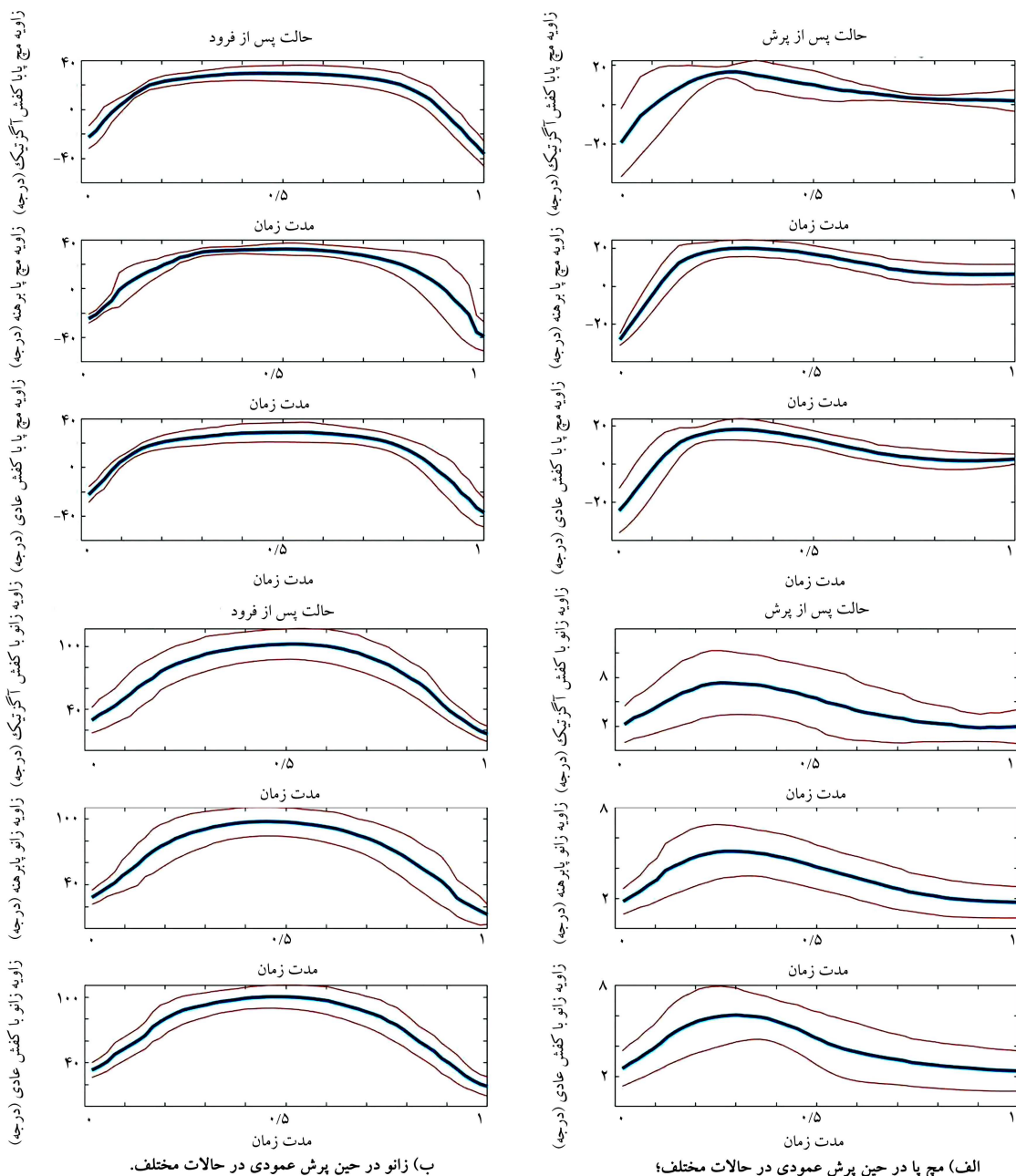
ج) شخص کفش عادی پوشیده است.

شکل ۷. میانگین فاصله انتریور- پوستریور مرکز فشار تا پاشنه‌ی پا برای زمان بعد از فرود از سکو برای حالت‌های مختلف.

این مقدار محاسبه خواهد شد و در قسمت بعدی از آن تحلیل آماری گرفته خواهد شد.

برای این امر ابتدا تحلیل واریانس‌ها انجام خواهد شد. چنان‌که مشاهده می‌شود، تحلیل واریانس‌ها نشان داد که حالات مختلف پوشش پا روی پارامتر مورد بررسی تأثیرگذار بوده است (مقدار متغیر پی برابر $0.02/0$ است)، یعنی با اطمینان بالای ۹۹ درصد می‌توان گفت که حالات پوششی مختلف پا روی کم‌ترین فاصله‌ی انتریور- پوستریور مرکز فشار نیروی واکنش زمین تأثیرگذار بوده است.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که پوشیدن کفش آگزتیک سبب کم‌تر شدن کم‌ترین فاصله‌ی انتریور- پوستریور مرکز فشار نیروی واکنش زمین تا پاشنه‌ی پا در زمان پس از فرود شخص از سکو می‌شود، به گونه‌ی که این فاصله برای کفش آگزتیک ۱۹٪ کم‌تر از کفش معمولی و ۲۰٪ کم‌تر از حالت پابرهنه است. از طرف دیگر زمانی که این فاصله کمینه می‌شود تقریباً با زمانی که نیروی عضلات بیشینه می‌شوند برابر است. کم‌تر بودن این فاصله در حالت آگزتیک سبب می‌شود که بازوی گشتاور این نیرو در آن لحظه نسبت به حالات دیگر کم‌تر باشد. این عامل سبب می‌شود که عضلات در حالتی که شخص کفش



شکل ۸. نمودارهای زاویه‌های مختلف مچ و زانو.

معناست که سازوکار بدن اشخاص قبل از پرش و در حال آماده شدن برای پرش در بین حالات مختلف یکسان است.

۴. نتایج

ابتدا نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از آزمایشات دیگر مقایسه شد. پیش از هر چیز نیروی واکنش زمین که در فاز AL به دست آمده، با مطالعه‌ی پیشین^[۱۰] مقایسه شد. طبیعی است که رفتار دو نمودار شبیه به یکدیگر است، مگر آن که بیشینه نیروی واکنش زمین کمی کم‌تر است که به دلیل ارتفاع کم‌تر سکوی استفاده شده در آن مطالعه است.

پس از بررسی متغیرهای مطلوب، به سراغ تحلیل متغیرهای پرش عمودی مانند ارتفاع پرش و زمان رسیدن به انقباض حداکثری می‌رویم. دلیل تحلیل این متغیرها اطمینان یافتن از آن است که این عوامل سبب تغییر و تفاوت بین حالات مختلف نشده‌اند. از نتایج تحلیل ANOVA برای متغیر ارتفاع پرش درمی‌یابیم که مقدار متغیر پی از ۵/۰° بیشتر است و بنابراین ارتفاع پرش در حالات مختلف پوشش پا تغییر معناداری نداشته است. این بدان معناست که اشخاص برای پرش در حالات مختلف از یک مکانیزم استفاده کرده‌اند و یک مقدار پرده‌اند.

متغیر بعدی که مورد تحلیل قرار خواهد گرفت زمان رسیدن به انقباض بیشینه از لحظه‌ی برخورد اولیه با زمین است. مشاهده شد که زمان رسیدن به نقطه‌ی انقباض بیشینه در حالات مختلف پوشش پا تفاوت معناداری نداشته است. این بدان

ولی می‌تواند دلایلی چون راحتی و نرمی کفش و یا قابلیت شکل‌پذیری خوب کفی آگرتیک آن باشد.

مزایای پژوهش انجام شده عبارت است از:

- استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برای ۱۱ نفر که مشابه آن کم‌تر دیده شده است.
- بررسی تأثیر کفش آگرتیک بر پارامترهای پرش عمودی که تا به حال انجام نشده است.
- در پژوهش انجام شده با محدودیت‌هایی نیز مواجه بودیم که امید است در تحقیقات بعدی برطرف شوند. این محدودیت‌ها عبارت‌اند از:
- عدم امکان بررسی تأثیر بلندمدت کفش آگرتیک بر متغیرهای عنوان شده.
- بررسی نکردن علت تغییر فاصله‌ی انتریور-پوستریور مرکز فشار نیروی واکنش زمین تا پاشنه‌ی پا.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به پیدایش مواد جدیدی به نام آگرتیک و استفاده از آنها در کفی کفش‌های ورزشی، موضوع این پژوهش برای ما اهمیت پیدا کرد. این اولین مطالعه برای مقایسه‌ی تأثیر کفش آگرتیک بر سینماتیک پایین تنه و ستون فقرات بود و در آن هدف اصلی مقایسه‌ی نتایج تجربی استفاده از کفش آگرتیک، کفش معمولی و پای برهنه بر سینماتیک افراد سالم در طول راه رفتن و پرش عمودی بود. در طی این پژوهش از ۱۱ مرد با سایز پای ۴۳ خواسته شد تا آزمون پرش عمودی را بر روی دو صفحه نیرو انجام دهند و در حین انجام این آزمون فعالیت عضلات آنها توسط مارکرها‌ی که به بدن افراد متصل شده بود با دوربین مادون قرمز ثبت شد. در حالی که تغییر قابل توجهی در راه رفتن و فاز SL از DVJ مشاهده نشد اما در شرایط با کفش آگرتیک تفاوت‌های معناداری در فاز AL از DVJ و راه رفتن نسبت به دو حالت دیگر وجود داشت که برخی از آنها عبارت‌اند از:

مقادیر اکستریم نیروی عضله‌ی لانجیسیموس، نیروی عضله‌ی ایلوکوستالیس و محل مرکز فشار نیروی واکنش زمین، در حالتی که شخص کفش آگرتیک به پا کرده است، مقادیر کم‌تری به خود گرفتند. ضمناً از نتایج به دست آمده مشخص شد که زوایای فلکشن ران، زانو و مچ پا در حالت کفش آگرتیک افزایش معناداری نسبت به کفش معمولی و پابرهنه دارند. وابستگی فعالیت عضلات و سینماتیک پایین‌تنه به نوع پوشش در مطالعات قبلی نیز مشاهده شده است. برای مثال، پوشیدن کفش در مقابل شرایط پابرهنه، باعث زوایای بزرگ‌تر برای مچ پا شده است.^[۱۶] همچنین گزارش محققان حاکی است که یک لایه‌ی میانی نرم‌تر باعث کاهش همان‌های بیشینه‌ی فلکشن در مفاصل مچ و لگن شده است.^[۱۷] نتایج به دست آمده، با فرض اولیه‌ی مقاله‌ی حاضر که کفش آگرتیک را از لحاظ جذب انرژی - به خصوص در فعالیت‌های سنگین - مؤثر می‌داند، مطابقت دارد.^[۱۷]

در نهایت به این نتیجه رسیده‌ایم که اثرات کفش‌های آگرتیک در فعالیت‌های سخت‌تر که واکنش‌های سنگین بدن در آن مورد نیاز است، بارزتر است. این با انتظارات ما از ساختار آگرتیک برای جذب انرژی بیشتر در شرایط بارگذاری ضربه، در مقایسه با فوم‌های معمولی که در جاهای دیگر گزارش شده است، مطابقت دارد. هرچند که در این مطالعه تلاش شد تا اثرات عملکردی و یا فیزیکی تا حد امکان حذف شود، اما می‌توان این نتایج را به دلایل دیگری مانند خواص و ساختار زیره، انعطاف‌پذیری زیره و یا حتی شکل ظاهری کفش مرتبط دانست.

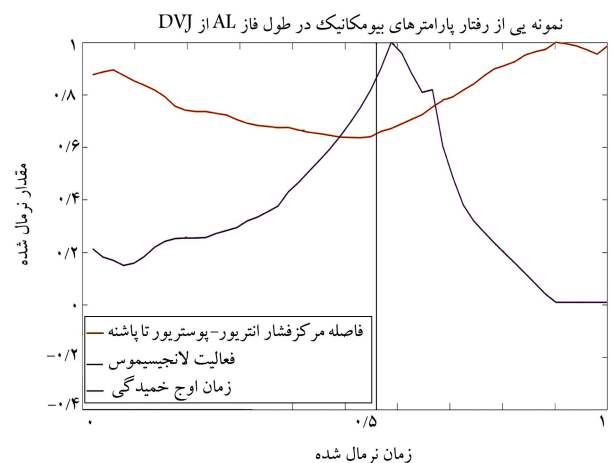
تحقیقات پیش‌تر برای تشخیص اثرات پارامترهای مختلف زیره کفش بر سینماتیک ستون فقرات و تفاوت آن با دو حالت دیگر مورد نیاز است.

در مورد مقدار فعالیت عضلات پایین‌تنه، پس از مشاهده‌ی نتایج مطالعه‌ی محققان^[۱۵]، این نتیجه به دست آمد که مقدار فعالیت عضلات در حین فعالیت پرش عمودی در نیمه‌ی دوم فاز AL از فعالیت عضلات در نیمه‌ی اول این فاز بیشتر است. این بدان معناست که عضلات در لحظات قبل از پرش و خصوصاً در لحظه‌ی انقباض حداکثری فعالیت بیشتری نسبت به زمان‌های ابتدایی فرود از خود نشان می‌دهند. این نتیجه تأییدی بر نتایج به دست آمده است، چرا که ما بیشینه فعالیت عضلات کمری را در زمان انقباض حداکثری که در نیمه‌ی دوم فاز AL قرار دارد به دست آوردیم.

در مورد زاویه‌ی فلکشن زانو، کفش آگرتیک افزایش ۹٪ نسبت به کفش عادی و ۴٪ نسبت به حالت پابرهنه نشان می‌دهد. این افزایش‌ها برای زاویه‌ی فلکشن مچ پا به ترتیب ۱۳٪ (نسبت به کفش عادی) و ۱۲٪ (نسبت به حالت پابرهنه) و برای فلکشن لگن ۱۳٪ (نسبت به کفش عادی) و ۱۲٪ (نسبت به حالت پابرهنه) است. فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس برای حالت کفش آگرتیک ۲۹٪ کم‌تر نسبت به کفش عادی و ۳۷٪ کم‌تر نسبت به حالت پابرهنه است. این مقادیر برای عضله‌ی ایلوکوستالیس به ترتیب ۱۶٪ (نسبت به کفش عادی) و ۱۹٪ (نسبت به حالت پابرهنه) است.

در ادامه نمودار رفتاری ۲ متغیر مورد بررسی به صورت یکجا و برای کفش آگرتیک رسم شده‌اند (شکل ۹). این نمودارها برای فاز AL (از زمان فرود آمدن از سکو تا زمانی که شخص کاملاً از صفحه نیرو جدا می‌شود) کشیده شده است.

خط عمودی مشکی نقطه‌ی انقباض حداکثری را نشان می‌دهد. محور عمودی تمام نمودارها به عدد ۱ نرمال شده است. همچنین زمان کل فاز AL نیز به ۱ نرمال شده است. به طور کلی زمان انجام یک فعالیت توسط هر شخص بین صفر و ۱ نرمال شده است. مشاهده می‌شود که هر دو متغیر (فاصله‌ی انتریور-پوستریور مرکز فشار نیروی واکنش زمین تا پاشنه‌ی پا و فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس (در نقطه‌ی انقباض حداکثری به مقدار اکستریم خود رسیده‌اند، به این صورت که نیروی فشاری و فعالیت عضله‌ی لانجیسیموس در نقطه‌ی انقباض حداکثری بیشینه شده‌اند و فاصله‌ی انتریور-پوستریور مرکز فشار نیروی واکنش زمین در نقطه‌ی انقباض حداکثری کمینه شده است. بنابراین به صورت علت و معلولی به تأییدی که کفش آگرتیک بر سینماتیک بدن اشخاص گذاشته، پرداخته شد. دلیل این که چرا کفش آگرتیک سبب شده است که مرکز فشار به پاشنه نزدیک‌تر شود کاملاً معلوم نیست،



شکل ۹. نمونه‌ی رفتار متغیرهای مختلف در حین فاز AL پرش عمودی برای کفش آگرتیک. (خط عمودی نشان‌گر نقطه‌ی انقباض حداکثری است).

پانوشتها

1. Re-Entrant
2. Nike Inc
3. Electromyography (EMG)
4. Extensor
5. Flexor
6. After Landing Phase (AL Phase)
7. Flight Phase
8. After Jumping Phase (AJ)
9. Repeated Measure ANOVA Test
10. Tukey's Range Test
11. Nike Free RN Shoe
12. Repeated Measure ANOVA
13. Averaged Integrated Muscle Activation (AIEMG)
14. Center of Pressure of Ground Reaction Force (CoP of GRF)
15. Heel
16. Toe
17. Anterior-Posterior Distance to Heel
18. Medio-Lateral Distance to Heel

منابع (References)

1. Chan, N. and Evans, K.E. "Fabrication methods for auxetic foams," *J Mater Sci*, **32**(22), pp. 5945-5953 (1997). DOI: 10.1023/A:1018606926094.
2. Lakes, R.S. and Elms, K. "Indentability of conventional and negative poisson's ratio foams," *J Compos Mater*, **27** (12), pp. 789-793 (1993). DOI: 10.1177/002199839302701203.
3. Blumenfeld, R. and Edwards, S.F. "Theory of strains in auxetic materials," *J Supercond Nov Magn*, **25**(3), pp. 565-571 (2012). DOI: 10.1007/s10948-012-1464-x.
4. Carneiro, V.H., Meireles, J. Puga, H. "Auxetic materials - A review," *Materials Science- Poland*, **31**(4), pp. 561-571, Oct. (2013). DOI: 10.2478/s13536-013-0140-6.
5. Sanami, M., Ravirala, N., Alderson, K. and et al. "Auxetic materials for sports applications," *In Procedia Engineering*, **72**, pp. 453-458 (2014). DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.079.
6. Cross, T.M., Hoffer, K.W., Jones, D.P. and et al. "Auxetic structures and footwear with soles having auxetic structures," USOO9402439B2, 2016.
7. Buchecker, M., Stöggl, T. and Müller, E. "Spine kinematics and trunk muscle activity during bipedal stand-

- ing using unstable footwear," *Scand J Med Sci Sports*, **23**(3), pp. 194-201 (2013). DOI: 10.1111/sms.12053.
8. Khoury-Mireb, M., Solomonow-Avnon, D., Rozen, N. and et al. "The effect of unstable shoe designs on the variability of gait measures," *Gait Posture*, **69**, pp. 60-65 (2019). DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.017.
9. Michalik, R. and et al. "Comparison of two different designs of forefoot off-loader shoes and their influence on gait and spinal posture," *Gait Posture*, **69**, pp.202-208 (2019). DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.02.007.
10. Alonzo, R., Teo, C., Pan, J.W. and et al. "Effects of basketball shoe midsole hardness on lower extremity biomechanics and perception during drop jumping from different heights," *Applied Sciences (Switzerland)*, **10**(10), (2020). DOI: 10.3390/app10103594.
11. Balagué, F., Troussier, B. and Salminen, J.J. "Non-specific low back pain in children and adolescents: Risk factors," *European Spine Journal*, **8**(6), pp.429-438 (1999). DOI: 10.1007/s005860050201.
12. Taimela, S., Kujala, U.M., Salminen, J.J. and et al. "The prevalence of low back pain among children and adolescents: A nationwide, cohort-based questionnaire survey in Finland," *Spine (Phila Pa 1976)*, **22**(10), pp.1132-1136 (1997). DOI: 10.1097/00007632-199705150-00013.
13. B.R. and BRAIN, I.N. "Low back pain fact sheet," *National Institute of Neurological Disorders and Stroke* (2014).
14. Simpson, J.D., Miller, B.L., O'Neal, E.K. and et al. "Ground reaction forces during a drop vertical jump: Impact of external load training," *Hum Mov Sci*, **59**, 12-19 (2018). DOI: 10.1016/j.humov.2018.03.011.
15. te Peng, H., Kernozek, T.W. and Song, C.Y. "Quadriceps and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height," *Physical Therapy in Sport*, **12**(3), pp.127-132 (2011). DOI: 10.1016/j.ptsp.2010.10.001.
16. Koyama, K. and Yamauchi, J. "Comparison of lower limb kinetics, kinematics and muscle activation during drop jumping under shod and barefoot conditions," *J Biomech*, **69**, pp.47-53 (2018). DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.01.011.
17. Moroney, C., Alderson, A., Allen, T. and et al. "The Application of Auxetic Material for Protective Sports Apparel," (2018). DOI: 10.3390/proceedings2060251..