



Research Article

## Comparison of Time Domain Variables of Ground Reaction Force During the Stance Phase of Running Using Unstable and Ordinary Shoes

Homa Mansouri<sup>1</sup>, Heydar Sadeghi<sup>1,2</sup>, Mansour Eslami<sup>3</sup>,  
Raghad Memar<sup>1</sup>

1. Department of Sports Biomechanics and injuries, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Department of Sports Biomechanics and Rehabilitation, Kinesiology Research Center, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

**Received: 17/01/2023, Accepted: 24/05/2023, Online Published: 04/06/2023**

\* Corresponding Author: Heydar Sadeghi, E-mail: [h.sadeghi@khu.ac.ir](mailto:h.sadeghi@khu.ac.ir)

**How to Cite:** Mansouri, H; Sadeghi, H. Eslami, M. Memar, R. (2025). Comparison of Time Domain Variables of Ground Reaction Force During the Stance Phase of Running Using Unstable and Ordinary Shoes. *Sport Medicine Studies*, 17(43), 17-32. In Persian. DOI: [10.22089/smj.2023.14160.1646](https://doi.org/10.22089/smj.2023.14160.1646)

### Extended Abstract

#### Background and Purpose

Running ranks among the most widely participated physical activities globally and is celebrated for its accessibility, cardiovascular benefits, and positive influence on physical and mental health. Despite these advantages, running is associated with one of the highest rates of overuse injuries among endurance sports. Previous research estimates that approximately 24–67% of runners sustain at least one injury annually. Notably, the prevalence of injury is significantly higher in female runners, who experience almost twice the incidence rate of their male counterparts. The repetitive motions of running, though beneficial for endurance and musculoskeletal conditioning, also exert considerable stress on the lower extremities due to repeated exposure to ground reaction forces (GRF).

With each foot strike, vertical ground reaction forces often equal two to four times the runner's body weight. Continuous exposure to such mechanical stress, combined with insufficient tissue recovery time, is a major factor underlying the pathophysiology of overuse injuries. The role of footwear in mediating this stress has become a central consideration in both athletic performance and injury prevention research. Running shoes act as the intermediary between the biological structure of the human musculoskeletal system and the mechanical properties of the running



surface. Hence, footwear design can alter the load transmission pathway, influencing kinetics, energy absorption, and even neuromuscular recruitment patterns during running.

$$Imp = \Delta t \left( \frac{F_1 + F_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right) \quad (1)$$

VILR and VALR between 20% and 80% of the heel contact to the vertical impact peak was calculated as following:

$$VILR = (f_{i+1} - f_{i-1}) / 2(t_{i+1} - t_{i-1}) \quad (2)$$

$$VALR = \Delta f / \Delta t \quad (3)$$

Unstable shoe designs are promoted commercially as devices capable of enhancing neuromuscular activation and joint stabilizer engagement. Nevertheless, the biomechanical evidence regarding their effects on impact loading remains inconsistent. Therefore, the primary aim of this study was to compare time-domain characteristics of the ground reaction force during the stance phase of running between unstable and ordinary shoes, particularly focusing on vertical loading patterns and potential injury-related variables.

### Methods

Twenty physically active young female participants voluntarily took part in the study. The mean  $\pm$  SD age of participants was  $21 \pm 2.30$  years, their mean  $\pm$  SD height was  $160 \pm 4.56$  cm, and their mean  $\pm$  SD body mass was  $59 \pm 7.19$  kg. Inclusion criteria specified a history of consistent physical training for at least six months, involving a minimum of two weekly sessions. Exclusion criteria ruled out any participant with a documented lower extremity injury within the preceding 12 months.

Two experimental conditions were tested: (1) an unstable shoe (Perfect Steps®, manufactured in Vietnam) and (2) an ordinary shoe (Knup®, manufactured in China). Participants underwent testing in both shoe conditions in randomized order. All kinetic data were gathered using a Kistler force plate (Winterthur, Switzerland) embedded mid-runway in a 10-meter track. The sampling rate was set at 1,000 Hz to ensure high-fidelity capture of vertical, anterior–posterior, and medial–lateral ground reaction forces.

Participants ran at a controlled speed synchronized to a digital metronome tempo of 140 beats per minute (BPM), designed to maintain consistent velocity across trials. To minimize variability, each subject completed several practice runs before data collection. The stance phase of the gait cycle was defined from the instant of initial contact to the point of toe-off.

Raw GRF data underwent signal-processing using a fourth-order low-pass Butterworth filter with a 10 Hz frequency cutoff in MATLAB (version 2018a, MathWorks, Natick, MA, USA). The parameters selected for analysis included the vertical peak passive force, braking force, propulsive force, free moment peak, impulse, average vertical loading rate (VALR), and instantaneous vertical loading rate (VILR) measured for both shoe conditions. All impulses were calculated using trapezoidal numerical integration.

For inferential statistics, normality assumptions of GRF variables were assessed. Paired-sample *t*-tests were utilized for normally distributed datasets, while Wilcoxon signed-rank tests were applied to non-normally distributed measures to compare the unstable and ordinary shoe conditions. The alpha criterion for significance was established at  $p < 0.05$ . All statistical analyses were performed with SPSS software (version 20; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

The biomechanical data derived from this study confirm fundamental differences in how unstable and traditional shoes modulate ground reaction forces during running. Specifically, unstable shoes lead to significantly shorter impact durations and higher vertical loading rates, key predictors of increased injury potential.

While proponents argue that unstable footwear can strengthen stabilizing muscles and enhance proprioceptive feedback, such claims may come at the expense of elevated vertical loading forces

that contribute to overuse pathology. From a sports medicine and rehabilitation standpoint, these findings highlight that enhancements in neuromuscular engagement do not necessarily equate to better mechanical protection or injury prevention.

In agreement with existing studies, the increased loading rates documented here align with conditions known to elevate tibial strain and patellofemoral stress. Conversely, the reduced free moment observed with unstable footwear might reflect modified rotational mechanics that could potentially improve balance training applications but are unlikely to mitigate the axial load concerns central to running injuries.

Thus, the integrated interpretation of our results suggests that unstable shoes may paradoxically increase risk factors for lower-limb overuse injury rather than decrease them. The lack of mechanical cushioning and early onset of vertical loading reinforces this concern.

In practical application, runners and coaches should approach unstable footwear implementations with caution—preferably reserving them for short balance-training sessions rather than extended endurance runs. Manufacturers and designers should re-evaluate the functional intent of such products, ensuring alignment with biomechanical efficiency rather than marketing narratives. Furthermore, future investigations should incorporate electromyographic (EMG) and kinetic-chain modeling to examine muscular adaptive responses over time, allowing a more holistic understanding of the physiological-cost trade-offs associated with unstable footwear.

In summary, the study concludes that unstable footwear alters performance kinetics, specifically by reducing the time to reach vertical force peaks and significantly increasing vertical loading rates. These modifications culminate in deficient shock absorption properties and subsequent elevation of potential injury risk, providing biomechanical evidence contrary to claims that such footwear mitigates running-related injuries.

## Results

Statistical outcomes revealed that the time to peak passive vertical force and the time to peak braking force were significantly shorter when subjects ran in unstable shoes than in standard footwear ( $p = 0.000$  and  $p = 0.009$ , respectively). These reductions denote that vertical and braking forces reached their maxima more rapidly under unstable-footwear conditions, implying a quicker and potentially more abrupt load application during stance phase.

In contrast, time-to-peak for propulsive and mediolateral forces did not differ significantly between the two conditions ( $p > 0.05$ ), revealing that the observed temporal changes were specific to the vertical and braking force components.

Regarding force magnitude, unstable shoes produced significantly higher vertical peak force values during stance ( $p = 0.000$ ), indicating increased mechanical load transmission through the lower limb. This heightened peak might reflect a diminished capacity for impact absorption, undermining the cushioning efficiency often desired in footwear performance. Conversely, no statistically significant differences were discerned in propulsive or mediolateral force peaks ( $p > 0.05$ ).

In examining the free moment, the results showed that the peak value was significantly lower during the unstable-shoe condition ( $p = 0.046$ ). The free moment characterizes the twisting force around the vertical axis at the foot–ankle complex. A reduction in this variable may suggest altered rotational control or reduced medial–lateral stabilization when wearing unstable footwear. The impulse—representing the cumulative force applied over the stance duration—did not differ significantly across shoe types ( $p > 0.05$ ). However, both the VALR and VILR were significantly higher under the unstable-shoe condition ( $p = 0.001$  for both). Elevated loading rates are indicative of faster force application over shorter time intervals, which has critical implications regarding bone and soft tissue stress.

Previous literature has directly linked increased vertical loading rates with higher incidence of tibial stress fractures and related injuries (1). Moreover, instantaneous GRF slopes in vertical

loading can reflect diminished shock attenuation capabilities within the musculoskeletal chain. Formulas describing instantaneous and average loading rates integrate both force magnitude and time duration. The sharply rising slope documented in the unstable shoe condition illustrates reduced temporal capacity to attenuate impact energy.

Therefore, the observed pattern suggests that unstable shoe designs fail to prolong deceleration duration upon foot strike, transmitting impact forces more directly to skeletal structures. This mechanical inefficiency may heighten susceptibilities to tibial shock, knee joint stress, and overall risk for overuse running injuries.

Keywords: Running, Unstable Shoe, Ground Reaction Force, Time-Domain Variables.

### **Article Message**

Running with unstable footwear elevates vertical loading rates and shortens impact-attenuation duration. This reflects compromised shock absorption efficiency, predisposing runners to increased injury risk. Thus, unstable shoes cannot be considered protective gear in preventing typical running injuries.

### **Ethical Considerations**

All ethical principles, including voluntary consent, confidentiality of data, participant safety, and adherence to integrity in analysis, were stringently followed.

### **Authors' Contributions**

- Conceptualization: Homa Mansouri, Heydar Sadeghi
- Data Collection: Homa Mansouri
- Data Analysis: Homa Mansouri, Heydar Sadeghi
- Manuscript Writing: Homa Mansouri
- Review and Editing: Heydar Sadeghi
- Consultation and Review: Mansour Eslami, Raghad Memar

### **Conflict of Interest**

The study observed complete adherence to publication ethics; no instances of plagiarism, misconduct, or data falsification occurred. The authors declare no financial or commercial conflict of interest and received no monetary support for this study.

### **Acknowledgments**

The authors express their sincere gratitude to all participants and colleagues who contributed invaluable support throughout the research process. Their cooperation and commitment were essential to the successful completion of this investigation.



## مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دوییدن در زنان فعال جوان با استفاده از کفش ناپایدار و معمولی

هما منصوری<sup>۱</sup> , حیدر صادقی\*<sup>۲</sup> , منصور اسلامی<sup>۳</sup> , رغد معمار<sup>۱</sup> 

۱. گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. گروه بیومکانیک ورزشی و توانبخشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳، تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

\*نویسنده مسئول: حیدر صادقی، ایمیل: [h.sadeghi@khu.ac.ir](mailto:h.sadeghi@khu.ac.ir)

**How to Cite:** Mansouri, H; Sadeghi, H. Eslami, M. Memar, R. (2025). Comparison of Time Domain Variables of Ground Reaction Force During the Stance Phase of Running Using Unstable and Ordinary Shoes. *Sport Medicine Studies*, 17(43), 17-32. In Persian. DOI: 10.22089/smj.2023.14160.1646

### چکیده

با توجه به ادعای مطرح‌شده در خصوص نقش آسیب‌رسان کفش‌های دوییدن به‌عنوان یکی از علل یازده‌گانه مشاهده صدمه در هر ۱۰۰۰ ساعت تمرین، هدف این مطالعه، مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دوییدن با کفش ناپایدار و معمولی بود. بیست زن جوان فعال با یک کفش معمولی با کفی صاف و یک کفش ناپایدار با کفی گهواره‌ای شکل با سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه روی سطح آزمایشگاه دوییدند. داده‌های سه‌بعدی نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دوییدن با استفاده از یک صفحه نیرو با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز جمع‌آوری شد و مقادیر اوج نیروهای عکس‌العمل زمین، زمان رسیدن به اوج آن‌ها، اوج گشتاور آزاد، ایمپالس و نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط نیروی عمودی توسط نرم افزار متلب محاسبه شدند. برای مقایسه متغیرهای وابسته بین دو شرایط، از آزمون‌های تی زوجی و ویلکاکسون استفاده شد ( $P \leq 0.05$ ). زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی، زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی و مقدار اوج گشتاور آزاد طی مرحله استقرار دوییدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی به‌طور معناداری کمتر بود؛ در حالی که اوج نیروی خارجی و نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای نیروی عمودی با کفش ناپایدار در مقایسه با کفش معمولی به‌طور معناداری بیشتر بود ( $P \leq 0.05$ ). با توجه به یافته‌های پژوهش، از آنجاکه کفش‌های ناپایدار باعث کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و افزایش نرخ‌های بارگذاری عمودی و ایجاد شوک بیشتر مرتبط با آسیب‌های دوییدن می‌شوند، به نظر نمی‌رسد استفاده از این نوع کفش‌ها مزیتی برای دوندگان در پیشگیری یا درمان آسیب‌ها داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** دوییدن، کفش ناپایدار، نیروی عکس‌العمل زمین، متغیرهای حوزه زمان.



## مقدمه

دویدن تفریحی یکی از بیشترین مقادیر مشارکت در بین همه فعالیت‌های بدنی در سراسر جهان را دارد (۱). مستند است که ۲۴ تا ۶۷ درصد از دوندگان تفریحی متحمل آسیب می‌شوند که از دویدن آن‌ها برای حداقل یک هفته در هر سال جلوگیری می‌کند (۲). شواهد نشان می‌دهند که زنان تقریباً دو برابر بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از دویدن هستند (۳).

نیروی عکس‌العمل زمین<sup>۱</sup> (GRF) در طول دویدن با هر ضربه پا معادل دو تا چهار برابر وزن بدن در جهت عمودی بر پا وارد می‌شود. این نیرو تاحدی توسط ساختار مفصل و بافت نرم تقلیل داده می‌شود، ولی نیروی درخور توجهی به استخوان‌های اندام تحتانی منتقل می‌شود (۴). یک دوندۀ معمولی طی دویدن پنج کیلومتری، تقریباً ۳۰۰۰ بار با زمین تماس برقرار می‌کند و GRF بارهای دو تا سه برابر وزن بدن را به هر پا وارد می‌کند. این بارگیری‌های مکرر اندام تحتانی امواج ضربه‌ای را به پا می‌فرستند و با آسیب‌های ناشی از پرکاری در دوندگان همراه می‌شوند (۵). آسیب‌هایی مانند شکستگی‌های استرسی، استرس داخلی درشت‌نی (شین اسپلینت)، نرمی کشکک زانو، فاسیای کف پا و تاندونیت آشیل، همگی می‌توانند به‌عنوان آسیب‌های ناشی از پرکاری طبقه‌بندی شوند (۶).

متغیرهای کینتیکی مرتبط با GRF در حوزه زمان که در برخی از مطالعات به‌منظور شناسایی فاکتورهای خطر ارزیابی شده‌اند عبارت‌اند از: مقادیر اوج مؤلفه‌های GRF (۹-۷)، زمان رسیدن به اوج (۷)، نرخ بارگذاری<sup>۲</sup> نیرو (۱۱، ۱۰) و سطح زیر منحنی نیروهای عکس‌العمل (ضربه یا ایمپالس<sup>۳</sup>) (۱، ۱۲). نرخ تغییرات نیرو یا نرخ بارگذاری برای متخصصین بیومکانیک ورزش و تمرین مورد توجه است که شوک اعمال شده به دستگاه عضلانی اسکلتی طی ضربه مربوط به تماس پاشنه را نشان می‌دهد (۵). نرخ بارگذاری متوسط از طریق تقسیم تغییرات کلی نیرو بر تغییرات کلی زمان در طول ۲۰ تا ۸۰ درصد از دوره بین تماس پا تا اوج برخورد عمودی قابل محاسبه است و نرخ بارگذاری لحظه‌ای، میزان اوج نرخ بارگذاری رخ داده در طول ۲۰ تا ۸۰ درصد از دوره بین تماس پا تا اوج برخورد عمودی است که در آن دوره رخ داده است (۱۰). این بخش از منحنی به دلیل اینکه خطی‌ترین قسمت از بارگیری اولیه منحنی است، انتخاب می‌شود. محققان با بررسی تفاوت‌های ساختاری و مکانیک دویدن بین دوندگان با سابقه ابتلا به شکستگی استرسی درشت‌نی<sup>۴</sup> و دوندگان بدون این سابقه، به بررسی عوامل بیومکانیکی مرتبط با آسیب شکستگی استرسی درشت‌نی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مقادیر نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط، شوک درشت‌نی و همچنین گشتاور آزاد در افرادی که سابقه ابتلا به آسیب شکستگی استرسی درشت‌نی داشتند، بیشتر است و شکستگی استرسی در دوندگان، مرتبط با افزایش متغیرهای مربوط به بارگیری پویا است (۱۰)؛ بنابراین کاهش نرخ بارگذاری عمودی و گشتاور آزاد طی گام برداری می‌تواند احتمال ایجاد آسیب‌های اندام تحتانی در افراد مستعد را به حداقل برساند.

پیشنهاد شده است که کفش‌های دویدن می‌توانند یکی از دلایل آسیب‌های دویدن باشد (۱۳، ۱۴). کاهش آسیب‌ها و بهبود عملکرد با استفاده از کفش‌های دویدن، هم در صنایع ورزشی و هم در دانشگاه‌ها مدنظر قرار گرفته است (۱۶-۱۴)؛ بنابراین توسعه کفش دویدن بر کاهش بار اندام تحتانی و همچنین بر افزایش عملکرد متمرکز شده است. در سال‌های اخیر، چندین طرح کفش ناپایدار به‌عنوان ابزار کاربردی یا درمانی توسعه یافته است (۲۰-۱۷). کفش با کفی

1. Ground Reaction Force
2. Loading Rate
3. Impulse
4. Tibial Stress Fracture

گهواره‌ای<sup>۱</sup> (MBT) اولین کفش ناپایداری بود که در مقادیر زیاد تولید و تجاری شد. برخی از مطالعات تغییرات متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی را در حین راه رفتن (۲۲، ۲۱) و دویدن (۲۳، ۱۸، ۱۲) با کفش‌های ناپایدار گزارش کرده‌اند. نتایج یک مطالعه درمورد تغییرات کینتیکی و کینماتیکی دویدن در مسیری یازده‌متری با مداخله یک کفش ناپایدار روی ۱۹ آزمودنی سالم، نشان داد که با پوشیدن این کفش طی دویدن کاهش معنادار اوج GRF داخلی و قدامی در زمان جدا شدن پا از زمین به وجود می‌آید و زاویه دورسی فلکشن بیشتر و گشتاور پلانتر فلکشن و دورسی فلکشن کمتری در مچ پا ایجاد می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد شد که با تغییرات ایجادشده در انحناهای کف کفش این امکان وجود دارد که در حرکات و نیروهای متحمل‌شده توسط مچ پا تغییرات اساسی و در حرکات و گشتاورهای زانو یا ران تغییرات جزئی به وجود آید. همچنین تغییرات هندسی کفی کفش ممکن است بدون اینکه خطری برای مفاصل زانو و ران داشته باشد، فرصت‌های درمانی بالقوه‌ای برای وضعیت‌های مچ پا عرضه کند (۲۳). در مطالعه دیگر، محققان با مقایسه نیروهای افقی و عمودی عکس‌العمل زمین و فعالیت عضلانی طی راه رفتن با کفش ناپایدار MBT، کفش استاندارد و پابرهنه بدون تمرین قبلی، به این نتیجه رسیدند که نیروهای عمودی طی راه رفتن با کفش MBT در مقایسه با کفش استاندارد و پابرهنه افزایش یافته است. این نتایج افزایش میزان بار دریافت‌شده توسط سیستم اسکلتی عضلانی را طی راه رفتن با کفش ناپایدار MBT به‌ویژه هنگام تماس پاشنه پا نشان می‌دهد (۲۴).

از آنجاکه یکی از عوامل تأثیرگذار بر مکانیک دویدن کفش است (۱۴) و اکثر مردم با کفش می‌دوند، روشی در دسترس برای تغییر الگوهای گام‌برداری طی دویدن فراهم می‌کند. با وجود اینکه ادبیات پژوهش درمورد کفش‌های ناپایدار رو به رشد است، اطلاعات آماری و علمی که مکانیسم و تأثیر کفش ناپایدار را طی دویدن نشان دهد، محدود است؛ به عنوان مثال، نرخ بارگذاری نیروی عکس‌العمل زمین که یکی از متغیرهای کینتیکی مرتبط با آسیب‌های دویدن است، طی دویدن با کفش ناپایدار هنوز به خوبی درک نشده است. علاوه بر این، با توجه به اینکه آسیب‌های مرتبط با دویدن در زنان شایع‌تر است (۱۳، ۳)، بررسی تأثیر کفش‌های ناپایدار بر مقادیر اوج مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین، زمان رسیدن به اوج نیروها، برآیند نیروها، گشتاور آزاد و سرعت‌های بارگیری ممکن است در پیشگیری از آسیب‌های دویدن در جامعه زنان مؤثر باشد؛ بر این اساس، با در نظر گرفتن این فرض که کفش ناپایدار می‌تواند برخی از متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین که مرتبط با آسیب‌های دویدن هستند، تغییر دهد و عواملی را که در ایجاد این آسیب‌ها نقش ایفا می‌کنند تعدیل کند، هدف از این مطالعه مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین در زنان فعال طی مرحله استقرار دویدن با استفاده از کفش ناپایدار و معمولی بود.

## روش پژوهش

دانشجویان دختر رشته تربیت‌بدنی مقطع کارشناسی دانشگاه مازندران جامعه آماری این پژوهش را تشکیل دادند (حدود ۱۰۰ نفر). از درون جامعه آماری با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور<sup>۱</sup> با توان آماری ۰/۹، ۲۰ نفر آزمودنی با میانگین سن ۲۱/۳۰±۲ سال، میانگین قد ۱۶۰±۴/۵۶ سانتی‌متر و میانگین جرم ۵۹±۷/۱۹ کیلوگرم که ملاک‌های شرکت در آزمون پژوهش را داشتند (داشتن سابقه حداقل شش ماه تمرین ورزشی منظم دو جلسه در هفته در رشته ورزشی آمادگی جسمانی، نداشتن هرگونه ناهنجاری و آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی از قبیل آسیب رباط‌ها، استئوآرتریت، اسپرین، آسیب‌های عضلانی و تاندونی، آسیب‌های استخوانی از قبیل شکستگی و شکستگی استرسی طی ۱۲ ماه قبل از شروع این مطالعه)، انتخاب شدند. همچنین پای برتر همه آزمودنی‌ها پای راست بود و سبیل پای آن‌ها یکسان بود. آزمودنی‌ها

1. G\*Power

پس از اطلاع از روند پژوهش، رضایت‌نامه شرکت در آزمون و پرسشنامه‌ای شامل مشخصات فردی، تاریخچه فعالیت ورزشی، سلامت فردی و سابقه آسیب اندام تحتانی را تکمیل و امضا کردند.

کفش ناپایدار استفاده‌شده در این پژوهش، کفش پرفکت استپس<sup>۱</sup> ساخت کشور ویتنام و کفش معمولی، کفش ناپ<sup>۲</sup> ساخت کشور چین بود (شکل ۱). کفش ناپایدار شکل هندسی متفاوتی از کفش معمولی دارد و دارای یک گهواره‌ای شکل در جهت قدامی-خلفی است که این کفی گهواره‌ای شکل باعث ایجاد یک سطح اتکای ناپایدار می‌شود. درمقابل، کفش معمولی دارای یک کفی صاف است و سطح اتکای پایداری را فراهم می‌کند. هر دو کفش از لحاظ جرم، جنس رویه و جنس کفی تا حد زیادی مشابهت داشتند. جرم کفش ناپایدار ۲۷۵ گرم و جرم کفش معمولی ۲۹۰ گرم بود. همچنین رویه کفش‌ها از جنس پلی اورتان و پوشش مشبک و کفی آن‌ها از جنس مواد رزین بود.



ب



الف

شکل ۱- کفش الف: ناپایدار، ب: معمولی

Figure 1- Shoe a: unstable b: ordinary

آزمون‌های پژوهش شامل دویدن با کفش ناپایدار و کفش معمولی در یک مسیر مستقیم به طول ۱۰ متر در آزمایشگاه دانشگاه مازندران بود. یک صفحه نیرو با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز ساخت شرکت کیستلر سوئیس در راستای دویدن آزمودنی‌ها در کف آزمایشگاه و در وسط مسیر به نحوی که آزمودنی‌ها قادر به تشخیص آن نبودند، تعبیه شده بود. قبل از اجرای هر آزمون، از آزمودنی‌ها خواسته شد که بدن خود را گرم کرده و چندین بار آزمون را تمرین کنند. آزمونگر در حین تمرین و گرم کردن آزمودنی‌ها، بدون اینکه نظر آزمودنی جلب شود، با در نظر گرفتن روش گام‌برداری‌ها، فاصله آزمودنی‌ها تا صفحه نیرو را به ترتیبی تنظیم کرد که در مسیر دویدن پای راست آزمودنی‌ها روی صفحه نیرو قرار گیرد. زمانی که پای راست آزمودنی در تماس با صفحه نیرو قرار گرفت، داده‌های مربوط به سه مؤلفه عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی نیروی عکس‌العمل زمین با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز ثبت شدند. آزمون دویدن برای هر آزمودنی سه بار با کفش ناپایدار و سه بار با کفش معمولی تکرار شد و میانگین داده‌های ثبت‌شده توسط صفحه نیرو برای هر آزمودنی با هر کفش بررسی شد. برای کنترل سرعت دویدن آزمودنی‌ها از یک دستگاه مترونوم دیجیتال با ضرب آهنگ ۱۴۰ ضرب در دقیقه (۲/۵ متر بر ثانیه) استفاده شد (۲۵).

داده‌های خام کینتیک با استفاده از تکنیک باترورث مرتبه چهارم با فرکانس برشی ۲۰ هرتز فیلتر شدند. برای مقایسه بین آزمودنی‌ها، داده‌های مربوط به نیروی عکس‌العمل زمین نسبت به وزن بدن افراد نرمال‌سازی شدند و همچنین زمان

1. Perfect Steps

2. Knup

استقرار دویدن به ۱۰۰ درصد نرمال سازی شد. همه محاسبات مربوط به فیلتر کردن، نرمال سازی داده‌ها، تعیین متغیرهای وابسته و رسم نمودارها توسط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ انجام شد. برای محاسبه ایمپالس نیروهای عکس‌العمل زمین در سه جهت از روش انتگرال گیری ذوزنقه‌ای به صورت زیر استفاده شد (۲۶):

$$Imp = \Delta t \left( \left( \frac{F_1 + F_n}{2} \right) + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا،  $\Delta t$  تفاضل زمان (S)،  $F_1$  اولین مقدار نیرو (BW)،  $F_n$  n امین مقدار نیرو (BW) و  $F_i$  نیرو در نقطه  $i$  (BW)، است.

نرخ‌های بارگذاری بین ۲۰ تا ۸۰ درصد از مرحله تماس پا تا اوج ضربه (عمودی) محاسبه شدند. نرخ بارگذاری عمودی همان شیب قسمت اول منحنی نیروی عمودی عکس‌العمل زمین-زمان (بین مرحله تماس پا و اوج نیروی غیر فعال عمودی) است. نرخ بارگذاری متوسط<sup>۱</sup> (VALR) از طریق تقسیم تغییرات نیرو بر تغییرات زمان، و نرخ بارگذاری لحظه‌ای<sup>۲</sup> (VILR) از تقسیم میزان حداکثر نرخ بارگذاری نیرو بر زمان رسیدن به آن نیرو محاسبه شد. فرمول‌های محاسبه نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای به صورت زیر است:

$$VALR = \Delta f / \Delta t \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$VILR = (f_{i+1} - f_{i-1}) / 2(t_{i+1} - t_{i-1}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در اینجا،  $\Delta f$  تفاضل نیروی عمودی در لحظه ۸۰ درصدی و ۲۰ درصدی مرحله تماس پا تا نقطه اوج برخورد عمودی (BW)،  $\Delta t$  تفاضل زمان در لحظه ۸۰ درصدی و ۲۰ درصدی مرحله تماس پا تا نقطه اوج برخورد عمودی (S)،  $f_{i+1}$  نیروی عمودی در نقطه  $i+1$  (BW)،  $f_{i-1}$  نیروی عمودی در نقطه  $i-1$  (BW)،  $t_{i+1}$  زمان در نقطه  $i+1$  (S)،  $t_{i-1}$  زمان در نقطه  $i-1$  (S) است.

برای تحلیل داده‌ها از روش‌های آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌های مربوط به دو نوع کفش از آزمون شاپیرو-ویلک و برای مقایسه متغیرهای زمانی نیروی عکس‌العمل زمین و تعیین معنادار بودن تفاوت شاخص‌ها طی دویدن با دو نوع کفش، از آزمون تی زوجی در صورت نرمال بودن داده‌ها و از آزمون ویلکاکسون در صورت غیرنرمال بودن داده‌ها در سطح معناداری آماری  $P \leq 0.05$  استفاده شد. تمامی آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار Spss نسخه ۲۰ انجام شد.

## نتایج

دقت شاخص‌های مرکزی و پراکندگی مربوط به زمان رسیدن به اوج نیروهای عکس‌العمل زمین در جدول (۱) و مقادیر اوج نیروها در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج پژوهش حاضر، تفاوت معنادار زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و نیروی ترمزی را طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی نشان داد؛ به طوری که زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی کاهش معنادار پیدا کرد ( $P=0.009$ ،  $P=0.000$ )، ولی در زمان رسیدن به اوج سایر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $P>0.050$ )، مقدار اوج نیروی خارجی طی دویدن با کفش ناپایدار افزایش معناداری را نشان داد ( $P=0.000$ )، ولی در سایر مقادیر اوج نیروهای

1. Vertical Average Loading Rate

2. Vertical Instantaneous Loading Rate

عکس‌العمل زمین بین دو شرایط کفش تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). نمودار نیروهای عکس‌العمل زمین در جهت عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی مربوط به یکی از آزمودنی‌ها طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار و کفش معمولی نشان داده شده است (شکل ۲).

جدول ۱- مقایسه زمان رسیدن به اوج نیروهای عکس‌العمل زمین (ms) طی مرحله استقرار دویدن با کفش معمولی و کفش ناپایدار

**Table 1- Comparison of time to peak ground reaction forces (ms) during the stance phase of running in unstable and ordinary shoe**

P	کفش ناپایدار Unstable Shoe	کفش معمولی Ordinary Shoe	متغیرهای وابسته Dependent Variables
0.000*	10.31 (2.89)	13.36 (2.85)	زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی Time to peak passive vertical force
0.218	41.83 (4.66)	42.86 (4.32)	زمان رسیدن به اوج نیروی فعال عمودی Time to peak active vertical force
0.009*	4.57 (1.55)	6.16 (2.07)	زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی Time to peak braking force
0.251	23.42 (3.91)	24.49 (3.94)	زمان رسیدن به اوج نیروی پیشراننده Time to peak propulsive force
0.173	5.47 (1.63)	6.01 (1.36)	زمان رسیدن به اوج نیروی خارجی Time to peak lateral force
0.079	13.57 (4.09)	12.20 (3.56)	زمان رسیدن به اوج نیروی داخلی Time to peak medial force

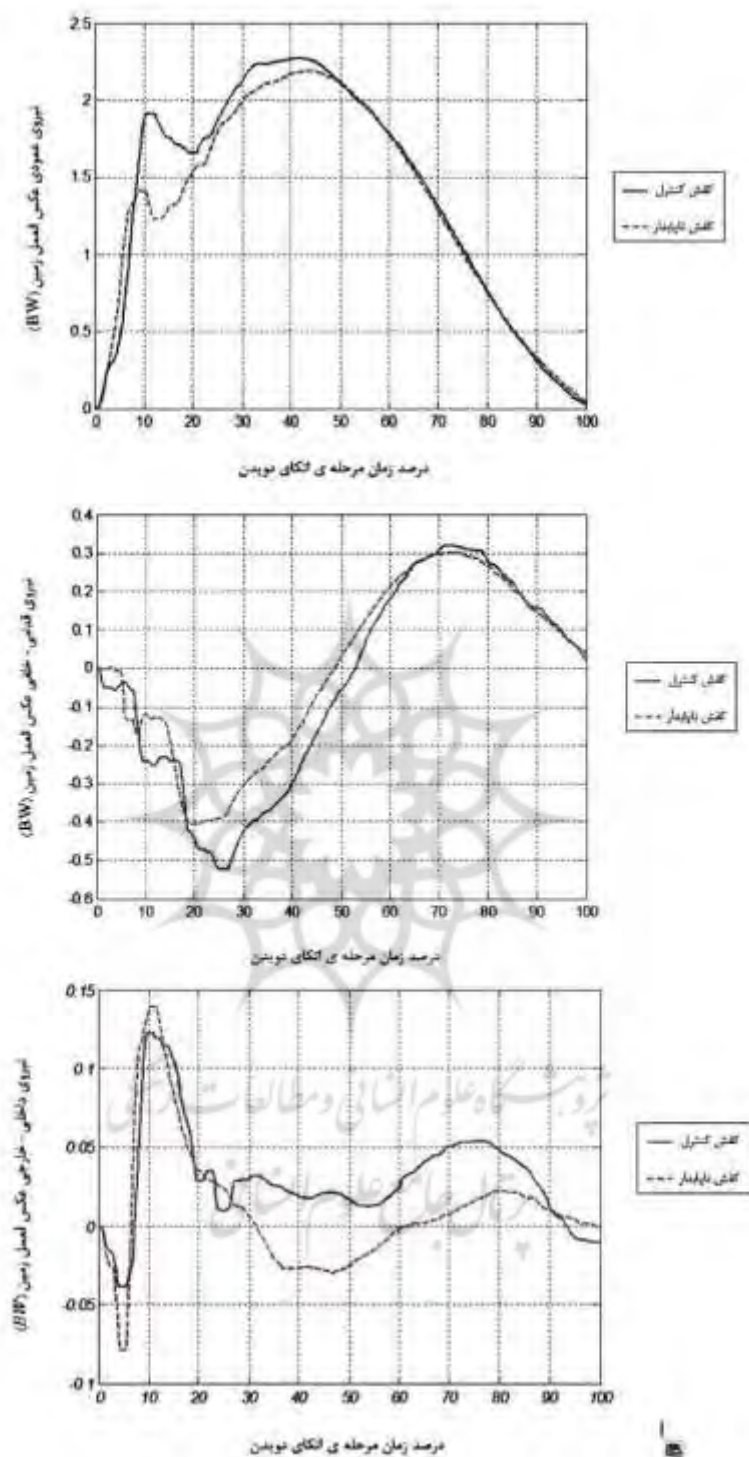
\* $P \leq 0.05$

جدول ۲- مقایسه اوج نیروهای عکس‌العمل زمین (BW) طی مرحله استقرار دویدن با کفش معمولی و کفش ناپایدار

**Table 2- Comparison of time to peak ground reaction force (ms) during the stance phase of running with unstable and ordinary shoe**

P	کفش ناپایدار Unstable Shoe	کفش معمولی Ordinary Shoe	متغیرهای وابسته Dependent Variables
0.173	1.49 (0.30)	1.57 (0.33)	اوج نیروی غیرفعال عمودی Peak passive vertical force
0.903	2.16 (0.26)	2.15 (0.23)	اوج نیروی فعال عمودی Peak active vertical force
0.200	-0.42 (0.08)	-0.46 (0.12)	اوج نیروی ترمزی Peak braking force
0.681	0.43 (0.07)	0.44 (0.12)	اوج نیروی پیشراننده Peak propulsive force
0.000*	-0.08 (0.02)	-0.05 (0.01)	اوج نیروی خارجی Peak lateral force
0.279	0.10 (0.05)	0.11 (0.03)	اوج نیروی داخلی Peak medial force

\* $P \leq 0.05$



شکل ۲- نمودار نیروهای عکس‌العمل زمین در مسیر عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی طی مرحله استقرار دویدن با کنش ناپایدار و معمولی

Figure 2- Schematic of ground reaction forces in the vertical, anterior-posterior, and medial-lateral directions during the stance phase of running with unstable and ordinary shoe

جدول (۳) شاخص‌های مرکزی و پراکندگی اوج گشتاور آزاد، برآیند نیروها و ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین در مسیر عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی طی مرحله استقرار دویدن با کفش معمولی و کفش ناپایدار را نشان می‌دهد. مقدار اوج گشتاور آزاد طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی کاهش معنادار پیدا کرد ( $p=0/046$ )، ولی برای مقدار برآیند نیروها و ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین طی دویدن با دو نوع کفش تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $p\geq 0/05$ ). مقایسه نتایج مربوط به نرخ بارگذاری نیروی عمودی GRF نشان داد که در مقادیر نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای بین دو شرایط کفش ناپایدار و کفش معمولی تفاوت معناداری وجود داشت و در شرایط کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی با افزایش معنادار همراه بود (به ترتیب  $p=0/001$ ,  $p=0/001$ ) (شکل ۳).

جدول ۳- مقایسه اوج گشتاور آزاد (N.m)، برآیند نیروها (N) و ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین (BW.s) طی مرحله استقرار دویدن با کفش معمولی و کفش ناپایدار

**Table 3- Comparison of peak free moment (N.m), resultant ground reaction force (N), and GRF impulses (BW.s) during the stance phase of running with unstable and ordinary shoe**

P	کفش ناپایدار Unstable Shoe	کفش معمولی Ordinary Shoe	متغیرهای وابسته Dependent Variables
0.046*	15.00 (2.70)	16.35 (2.66)	اوج گشتاور آزاد Peak free moment
0.144	760.06 (69.97)	745.78 (76.52)	برآیند نیروها Resultant force
0.163	132.59 (12.82)	130.08 (13.04)	ضربه نیروی عمودی Vertical force impulse
0.364	-10.38 (2.03)	-9.81 (2.35)	ضربه نیروی ترمزی Braking force impulse
0.340	13.12 (3.67)	12.34 (4.42)	ضربه نیروی پیش‌راننده Propulsive force impulse
0.093	-1.88 (1.46)	-2.43 (1.46)	ضربه نیروی خارجی Lateral force impulse
0.681	1.63 (1.52)	1.40 (0.88)	ضربه نیروی داخلی Medial force impulse

\* $p\leq 0.05$

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه مقایسه متغیرهای حوزه زمان GRF طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار و معمولی بود. پس از جمع‌آوری و محاسبات داده‌ها توسط نرم‌افزارهای اکسل و متلب، متغیرهای اصلی محاسبه شدند و با استفاده از آزمون‌های تی زوجی و ویلکاکسون تجزیه و تحلیل شدند. یافته‌های حاصل نشان داد که در شرایط کفش ناپایدار نسبت به شرایط کفش معمولی، زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی، به طور معناداری کاهش پیدا کرد. کاهش زمان رسیدن به اوج نیرو باعث افزایش نرخ بارگذاری می‌شود و با کوتاه شدن دوره زمانی که نیرو به بدن اعمال می‌شود، شوک ضربه اندام تحتانی افزایش می‌یابد. گزارش داده شده است که هرچه زمان رسیدن به اوج نیرو کمتر باشد، میزان اثرگذاری نیرو بیشتر می‌شود (۲۷). با توجه به خاصیت ویسکوالاستیکی بافت‌های بدن، زمان اعمال نیرو در بروز آسیب‌ها بسیار مهم است. در پژوهش‌های پس‌رویدادی روی دوندگان آسیب‌دیده و سالم نشان داده شده است که مدت زمان اعمال نیرو می‌تواند مفاصل را با سطوح بالاتری از نیروی اعمال شده همراه کند (۲۱). تغییر حرکت مفصل مچ پا و سگمنت پا بعد از تماس اولیه پا طی دویدن با کفش ناپایدار ممکن است مسئول کوتاه شدن دوره زمانی رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی (ضربه‌ای) و نیروی ترمزی در مقایسه با کفش معمولی باشد.

نتایج پژوهش حاضر افزایش معنادار مقدار اوج نیروی خارجی GRF را در شرایط کفش ناپایدار نسبت به شرایط کفش معمولی نشان داد، ولی برای مقادیر اوج نیروی غیرفعال و فعال عمودی، نیروی ترمزی، نیروی پیشراننده و نیروی داخلی تفاوت معناداری مشاهده نشد. در مطالعات پیشین، نیروی داخلی-خارجی معمولاً ثبات کم و تغییرات زیادی را در الگو و شکل نشان داده است که ممکن است به دلیل تفاوت در نحوه قرارگیری پا، وضعیت کفش و سطح محیطی طی دویدن باشد (۲۸). بخش اعظم یافته‌های مطالعات قبلی حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های GRF نشان داده‌اند که مقادیر پیک بزرگ‌تری هنگام پوشیدن کفش‌های معمولی در مقایسه با کفش‌های ناپایدار وجود دارد (۲۹). شرکت‌های سازنده کفش‌های ناپایدار بیان کرده‌اند که کفش ناپایدار با اثر غلتکی که دارد می‌تواند میزان نیروی عمودی فعال را کاهش دهد (۲۱)؛ با وجود این، نتایج پژوهش حاضر چنین تفاوتی را نشان نداد؛ هرچند میزان نیروی عمودی فعال در ادبیات پژوهشی شاخص آسیب شناخته نمی‌شود و بیشتر متغیر عملکردی است (۱۷).

برای پیشروی بدن در مرحله استقرار انتهایی، ایجاد یک نیروی پیش‌برنده لازم است. در مقایسه با کفش معمولی، دویدن با کفش ناپایدار تفاوت معناداری را در مقدار اوج نیروی پیشراننده نشان نداد. برخی از مطالعات کاهش معنادار گشتاور پلانتر مچ پا، توان منفی مچ پا و مؤلفه عمودی GRF را نشان دادند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که کفش ناپایدار بر عملکرد کمکی گهواره‌ای جلوی پا که در اثر کفی گهواره‌ای شکل ایجاد می‌شود، اثرگذار است و ممکن است با کاهش پارامترهای کینتیک به عمل پیشروی به جلو کمک کند؛ بنابراین کفش ناپایدار ممکن است برای افرادی که در مرحله جدا شدن شست پا یا پوش‌آف<sup>۱</sup> توان کمتری دارند، مؤثر باشد (۲۱). یک کفی گهواره‌ای شکل فشار را به سمت جلوی پا انتقال می‌دهد و به عملکرد گهواره‌ای جلوی پا در مرحله پیش از نوسان کمک می‌کند؛ با وجود این، در پژوهش حاضر نتیجه‌ای مبنی بر اینکه کفش ناپایدار بر نیروی پیشراننده طی مرحله استقرار دویدن تأثیرگذار است، یافت نشد. طبق یافته‌های این پژوهش، نبود تفاوت معنادار در مقادیر اوج نیروی عمودی GRF، نیروی ترمزی، نیروی پیشراننده و نیروی داخلی طی دویدن با کفش ناپایدار و کفش کنترل، تأثیر نداشتن کفش ناپایدار را بر این متغیرهای کینتیک نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر مقدار اوج گشتاور آزاد طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی به طور معناداری کاهش پیدا کرد. گشتاور آزاد به‌عنوان میزان گشتاور وارد بر پا در محل مرکز فشار حول محور عمودی تعریف می‌شود (۲۶). محققان بیان کرده‌اند که گشتاور آزاد نسبت به نیروی عمودی عکس‌العمل زمین وابستگی بیشتری به تغییر شکل پیچشی درشت‌نی طی گام برداشتن دارد (۳۰)؛ بنابراین با کاهش نرخ بارگذاری عمودی و گشتاور آزاد می‌توان احتمال ایجاد آسیب‌های اندام تحتانی در افراد مستعد را به حداقل رساند. در مقادیر نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط GRF عمودی افزایش معناداری طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی مشاهده شد. در پژوهش‌های گذشته طی راه رفتن با کفش‌های ناپایدار MBT اولین مقدار اوج نیروی عمودی و سرعت پذیرش وزن بیشتری نسبت به کفش‌های استاندارد یا شرایط پابره‌نه ایجاد شد که افزایش بارگیری سیستم عضلانی اسکلتی را نشان می‌دهد (۲۴). مطالعات قبلی گزارش کردند که شوک درشت‌نی با نرخ بارگذاری GRF عمودی مرتبط است (۱). همچنین محققان رابطه‌ای قوی بین نرخ بارگذاری GRF عمودی و اوج شتاب مثبت درشت‌نی گزارش کردند (۳۱) و با بررسی رابطه GRF با پارامترهای شتاب درشت‌نی طی دویدن با کفش‌های مختلف، نتیجه گرفتند که اوج شتاب درشت‌نی می‌تواند به خوبی با استفاده از نرخ بارگذاری عمودی و اوج نیروی افقی عکس‌العمل زمین برآورد شود. با توجه به انحنایی که در راستای قدامی-خلفی در قسمت کف کفش ناپایدار وجود دارد، شکل کاملاً متفاوتی از یک کفش معمولی دارد؛ بنابراین ممکن

است نیروهای عکس‌العمل زمین و متعاقب آن نرخ‌های بارگذاری بارگیری تحت‌تأثیر این ویژگی‌ها قرار گیرند؛ به‌ویژه به این دلیل که ممکن است گشتاور اندام دیستال و متعاقباً شتاب آن افزایش یابد. با توجه به فرمول محاسبه نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط (فرمول‌های ۲ و ۳)، فاکتورهای مؤثر بر نرخ بارگذاری، مقدار نیرو و مدت زمان اعمال نیرو هستند. در الگوی دویدن افراد هنگام دویدن با کفش ناپایدار، با وجود اینکه در مقادیر اوج نیروی عمودی تغییر معناداری مشاهده نشد، شیب نمودار GRF عمودی نسبت به الگوی دویدن با کفش ناپایدار، با وجود اینکه در مقادیر اوج پیدا کرد؛ به‌طوری‌که شیب نمودار GRF عمودی در مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار زودتر رخ داد و زمان رسیدن به اوج در مقایسه با کفش معمولی کوتاه‌تر بود؛ از این‌رو این الگوی بارگیری نشان‌دهنده ناتوانی کفش ناپایدار در جذب مقدار و سرعت شوک ضربه به اندام تحتانی است؛ در نتیجه ممکن است به افزایش ایجاد خطر آسیب‌های مرتبط با دویدن منجر شود.

مطالعات نشان داده‌اند، مقدار باری که در یک دوره زمانی بر بدن فرد اعمال می‌شود و مقدار ضربه وارد شده در دوره استقرار می‌تواند حائز اهمیت باشد (۱۷). با افزایش مدت زمان اعمال نیرو بار وارد شده به پا افزایش می‌یابد و با برخورد های تکراری پا با زمین هنگام دویدن، خطر ایجاد و توسعه آسیب نیز افزایش می‌یابد. بدین منظور در مطالعه حاضر، متغیرهای ضربه نیروی عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی برای مقایسه اثرات کفش‌های ناپایدار و معمولی طی دویدن بررسی شدند. نتایج پژوهش تفاوت معناداری را برای ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین بین دو شرایط کفش نشان نداد.

مطالعه حاضر اثرات فوری پوشیدن کفش ناپایدار و معمولی را بر متغیرهای زمانی GRF بررسی و مقایسه کرد. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده اثر طولانی‌مدت این کفش‌ها بررسی شود تا تأثیر سازگاری طولانی مدت با کفش بر متغیرهای مدنظر مشخص شود. همچنین آزمودنی‌های این پژوهش همگی زنان سالم و فعال بودند که با سرعت متوسط دویدند. ممکن است نتایج متفاوتی در پی استفاده از این کفش‌ها برای افراد آسیب‌دیده یا برای دویدن با سرعت‌های بیشتر مشاهده شود و ممکن است استنباط‌های دیگری برای زنان چاق و یائسه وجود داشته باشد.

نتایج مطالعه نشان داد که کفش ناپایدار با کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی و افزایش شیب منحنی نیروی عمودی زمان، موجب افزایش نرخ بارگیری لحظه‌ای و متوسط GRF عمودی می‌شود. نرخ‌های بارگذاری نیروی عمودی از مهم‌ترین متغیرهای کینتیکی مرتبط با آسیب‌های دویدن هستند و شوک اعمال شده به دستگاه اسکلتی عضلانی را نشان می‌دهند؛ بنابراین استفاده از کفش ناپایدار به دلیل کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی و در نتیجه افزایش نرخ بارگذاری نیروی عمودی، توانایی میزان جذب شوک کمتری را طی دویدن همراه دارد.

### پیام مقاله

در پژوهش حاضر نرخ‌های بارگذاری نیروی عمودی که نشان‌دهنده شوک اعمال شده به دستگاه اسکلتی عضلانی هستند، طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی افزایش یافتند؛ بنابراین می‌توان گفت کفش ناپایدار با ایجاد شوک بیشتر در مرحله استقرار دویدن ممکن است احتمال ایجاد آسیب‌های مرتبط با دویدن را افزایش دهد.

### ملاحظات اخلاقی

کلیه ملاحظات اخلاقی شامل محرمانگی اطلاعات و رضایت آگاهانه رعایت شده است، ولی برای این مطالعه کد اخلاق دریافت نشده است.

### مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی: هما منصوری، حیدر صادقی

جمع‌آوری داده‌ها: هما منصوری

تحلیل داده‌ها: هما منصوری، حیدر صادقی

نوشتن مقاله: هما منصوری

راهنمایی، بازبینی و ویرایش: حیدر صادقی

مشاوره و بازبینی: منصور اسلامی، رغد معمار

### تعارض منافع

طی انتشار این مقاله، به طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز شده است و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد و نویسندگان در قبال ارائه اثر خود وجهی دریافت نکردند.

### تشکر و قدردانی

از شرکت‌کنندگان در پژوهش و تمامی کسانی که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### منابع

1. Napier C, MacLean CL, Maurer J, Taunton JE, Hunt MA. Kinetic risk factors of running-related injuries in female recreational runners. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(10):2164–72. <https://doi.org/10.1111/sms.13228>
2. Bischof JE, Abbey AN, Chuckpaiwong B, Nunley JA, Queen RM. Three-dimensional ankle kinematics and kinetics during running in women. *Gait Posture*. 2010;31(4):502–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.02.010>
3. Sinclair J, Greenhalgh A, Edmundson CJ, Brooks D, Hobbs SJ. Gender differences in the kinetics and kinematics of distance running: implications for footwear design. *Int J Sports Sci Eng*. 2012;6(2):118–28.
4. Bennell K, Crossley K, Jayarajan J, Walton E, Warden S, Kiss ZS, et al. Ground reaction forces and bone parameters in females with tibial stress fracture. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(3):397–404. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000117133.90626.AC>
5. Laughton CA, Davis IM, Hamill J. Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *J Appl Biomech*. 2003;19(2):153–168. <https://doi.org/10.1123/jab.19.2.153>
6. Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(9):1635–1641. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009000-00021>
7. Jafarnejadgero AA, Farahpour N, Damavandi M. The immediate effects of arch support insole on ground reaction forces during walking. *J Rehabil Sci*. 2015;11(3):172–181.
8. Sadeghi H, Mousavi S, Ghasempur H, Nabavinik H. A comparison of the vertical ground reaction force during forward and backward walking in athletes with ankle sprain. *J Mod Rehabil*. 2013;7(1):1–7.
9. Yu L, Mei Q, Xiang L, Liu W, Mohamad NI, István B, et al. Principal component analysis of the running ground reaction forces with different speeds. *Front Bioeng Biotechnol*. 2021;9:629809. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.629809>
10. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(2):323–8. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000183477.75808.92>
11. Sahebi F, Eslami M, Shirzad E. Comparison of rate of loading and frequency contents of impact force between dominant and non-dominant leg during anticipated and unanticipated sidestep cutting tasks. *Res Sport Med*. 2017;9(21):131–48.
12. Eslami M, Hoseini Nejad S, Gandomkar A, Jahedi V. Effect of unstable shoes on ground reaction force parameters during stance phase of running. *J Res Sport Med Technol*. 2013;11(6):90–101.

13. Braunstein B, Arampatzis A, Eysel P, Brüggemann G-P. Footwear affects the gearing at the ankle and knee joints during running. *J Biomech.* 2010;43(11):2120–5. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.05.039>
14. Agresta C, Giacomazzi C, Harrast M, Zandler J. Running Injury Paradigms and Their Influence on Footwear Design Features and Runner Assessment Methods. *Front Sports Act Living.* 2022; 4:815675. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.815675>
15. Sun X, Lam W-K, Zhang X, Wang J, Fu W. Systematic review of the role of footwear constructions in running biomechanics: implications for running-related injury and performance. *J Sports Sci Med.* 2020;19(1):20–35.
16. Hong Y, Wang L, Li JX, Zhou JH. Changes in running mechanics using conventional shoelace versus elastic shoe cover. *J Sports Sci.* 2011;29(4):373–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.533426>
17. Nigg BM, Ket G, Federolf P, Landry SC. Gender differences in lower extremity gait biomechanics during walking using an unstable shoe. *Clin Biomech.* 2010;25(10): 1047–52. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.05.013>
18. Trama R, Blache Y, Hautier C. Effect of rocker shoes and running speed on lower limb mechanics and soft tissue vibrations. *J Biomech.* 2019; 82:171–7. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.003>
19. Hoitz F, Mohr M, Asmussen M, Lam W-K, Nigg S, Nigg B. The effects of systematically altered footwear features on biomechanics, injury, performance, and preference in runners. *Footwear Sci.* 2020;12(3):193–215. <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1766592>
20. Willwacher S. Running shoes: injury protection and performance enhancement. In: *Handbook of Human Motion.* 2017; 432:1613–28.
21. Taniguchi M, Tateuchi H, Takeoka T, Ichihashi N. Kinematic and kinetic characteristics of Masai Barefoot Technology footwear. *Gait Posture.* 2012;35(4):567–572. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.01.018>
22. Ahmadi Ganjeh S, Yazdani Charati J, Hoseinnejad SE. The effect of unstable shoe on kinetic parameters associated with lower limbs during walking among healthy male students. *Iran J Ergon.* 2019;6(4):37–45.
23. Boyer KA, Andriacchi TP. Changes in running kinematics and kinetics in response to a rockered shoe intervention. *Clin Biomech.* 2009;24(10):872–6. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.07.004>
24. Sacco ICN, Sartor CD, Cacciari LP, Onodera AN, Dinato RC, Pantaleão E, et al. Effect of a rocker non-heeled shoe on EMG and ground reaction forces during gait without previous training. *Gait Posture.* 2012;36(2):312–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.01.006>
25. Hobara H, Sato T, Sakaguchi M, Nakazawa K. Step frequency and lower extremity loading during running. *Int J Sports Med.* 2012;33(4):310–3. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1283199>
26. Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. *Research methods in biomechanics.* 2<sup>nd</sup> ed. Cham: Human Kinetics; 2013.
27. Kulin RM, Jiang F, Vecchio KS. Effects of age and loading rate on equine cortical bone failure. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2011;4(1):57–62. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2010.06.002>
28. Seeley MK, Evans-Pickett A, Collins GQ, Tracy JB, Tuttle NJ, Rosquist PG, et al. Predicting vertical ground reaction force during running using novel piezoresponsive sensors and accelerometry. *J Sports Sci.* 2020;38(16):1844–58. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794572>
29. de Sousa ASP. *Biomechanical analysis of human movement and postural control based on multifactorial correlation and clinical implications [doctoral dissertation].* Porto: Universidade do Porto; 2013.
30. Yang PF, Sanno M, Ganse B, Koy T, Brüggemann G-P, Müller LP, et al. Torsion and antero-posterior bending in the in vivo human tibia loading regimes during walking and running. *PLoS One.* 2014;9(4): e94525. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094525>
31. Milner CE, Hamill J, Davis I. Are knee mechanics during early stance related to tibial stress fracture in runners? *Clin Biomech.* 2007;22(6):697–703. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.03.004>