

Research Paper

Effects of Functional and Mental Fatigues on Landing Kinematics of Athletes With Chronic Ankle Instability



Payman Allahyari Kashkoli<sup>1</sup> , \*Rahim Mirnasuri<sup>1</sup>

1. Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.



**Citation** Allahyari Kashkoli P, Mirnasuri R. [Effects of Functional and Mental Fatigues on Landing Kinematics of Athletes With Chronic Ankle Instability (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):900-913. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3381>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3381>

**ABSTRACT**

**Background and Aims** Ankle sprains of moderate to severe intensity can lead to chronic ankle instability and adversely affect landing kinematics. Both functional and mental fatigue are key factors contributing to these alterations. The present study aimed to compare the effects of functional and mental fatigue on single-leg landing kinematics in athletes with chronic ankle instability and healthy individuals.

**Methods** In this quasi-experimental study, 48 male athletes aged 18–30 years (24 with chronic ankle instability and 24 healthy) were randomly assigned to four groups: Chronic ankle instability with functional fatigue, chronic ankle instability with mental fatigue, healthy with functional fatigue, and healthy with mental fatigue. The single-leg landing test was performed before and after the fatigue protocols, and kinematic angles (knee valgus, knee flexion, and hip flexion) were analyzed using Kinovea software, version 0, 9, 5. Data were tested for normality using the Shapiro–Wilk test, followed by two-way mixed ANOVA (group×time) and Bonferroni post hoc analysis.

**Results** using (P=0.0001). No significant change observed in the hip flexion angle (P=0.113). In the chronic ankle instability group with mental fatigue, the knee valgus angle also showed a significant increase (P=0.0001), whereas the knee flexion (P=0.061) and hip flexion (P=0.565) angles did not exhibit significant changes. Between-group comparisons indicated that the chronic ankle instability group with functional fatigue exhibited greater increases in knee valgus (P=0.0001) and greater decreases in knee flexion (P=0.0001) compared to the healthy groups. Furthermore, compared to the CAI group with mental fatigue, the changes in knee valgus (P=0.148) and knee flexion (P=0.061) were not statistically significant.

**Conclusion** Both functional and mental fatigue affect knee and hip joint kinematics in individuals with chronic ankle instability, particularly by increasing knee valgus and decreasing knee flexion. Functional fatigue had a greater adverse effect, causing more considerable changes in joint alignment. These findings highlight the importance of considering the role of different types of fatigue in lower limb injury prevention strategies.

**Keywords** Chronic ankle instability, Fatigue, Kinematics, Landing

Received: 02 Jun 2025

Accepted: 16 Sep 2025

Available Online: 21 Jan 2026

\* **Corresponding Author:**

Rahim Mirnasuri, Associate Professor.

Address: Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Tel: +98 (917) 4169868

E-Mail: [dr\\_mirnasuri@yahoo.com](mailto:dr_mirnasuri@yahoo.com)



Copyright © 2026 The Author(s);  
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

## Extended Abstract

### Introduction

**A**nkle sprain is among the most common sports injuries, accounting for 10–30% of all sports-related injuries, and frequently progresses to chronic ankle instability (CAI). CAI is particularly prevalent in sports involving frequent jumping, landing, and sudden directional changes, and is associated with altered landing biomechanics that increase the risk of recurrent injury. Factors, such as ligament damage, muscle weakness, proprioceptive deficits, and delayed neuromuscular responses contribute to these changes. Fatigue is another critical risk factor, as many injuries occur during the later stages of training or competition. Functional fatigue, induced by high-intensity repetitive activity, has been shown to impair proprioception, postural control, and landing mechanics, including increased knee valgus and tibial shear forces and decreased hip and knee flexion. More recently, mental fatigue—arising from prolonged cognitive activity has also been recognized as a factor that impairs concentration, motor control, and movement accuracy, even in the absence of physical exhaustion. Despite the recognized importance of fatigue, few studies have directly compared the effects of functional and mental fatigue on landing biomechanics in athletes with CAI. Therefore, the purpose of this study was to investigate and compare the influence of functional and mental fatigue on single-leg landing kinematics, specifically knee flexion, hip flexion, and knee valgus angles in athletes with CAI and healthy individuals, in order to inform strategies for injury prevention and rehabilitation program design.

### Methods

This quasi-experimental study with a repeated-measures design was conducted in Shiraz in 2024. Based on G\*Power software, version 3.1.9.7 calculations, a total of 48 athletes were recruited, including 24 individuals with CAI and 24 healthy controls. Each group was randomly subdivided into two subgroups (n=12) assigned to either a functional fatigue or a mental fatigue protocol, resulting in four experimental groups. Inclusion and exclusion criteria were determined using standard indices of ankle instability and validated questionnaires (cumberland ankle instability tool, FADI, and FADI-sport).

All participants completed a standardized warm-up, followed by a single-leg landing task performed before and after the fatigue protocols. Kinematic data, including hip and knee flexion angles in the sagittal plane and the knee

valgus angle in the frontal plane, were extracted from two-dimensional video recordings using the validated Kinovea software.

The functional fatigue protocol, adapted from Chapell et al. [20] and Liu et al. [10] consisted of repeated sprints and vertical jumps until vertical jump height or running performance declined by more than 50%, or until voluntary exhaustion occurred. The mental fatigue protocol employed a 30-minute computerized Stroop test, previously validated for inducing cognitive fatigue. Data were analyzed using SPSS software, version 27. Descriptive statistics were computed, normality was assessed using the Shapiro–Wilk test, and a two-way mixed ANOVA with Bonferroni-adjusted post hoc comparisons was performed to examine within- and between-group differences before and after the fatigue protocols.

### Results

The results indicated no significant differences among the groups in age, height, weight, or body mass index (BMI) ( $P>0.05$ ), confirming baseline homogeneity.

Regarding kinematic variables, mixed-model ANOVA revealed significant main effects of time and significant time×group interactions for knee valgus, knee flexion, and hip flexion angles. Between-group differences were significant for knee valgus and knee flexion but not for hip flexion.

#### Post hoc Bonferroni comparisons showed that

The knee valgus angle increased significantly more in the CAI groups, particularly under functional fatigue, compared to healthy groups ( $P<0.001$ ). Knee flexion angle decreased significantly more in both CAI groups compared to healthy groups ( $P<0.05$ ). The hip flexion angle was significantly greater in the CAI+functional fatigue group than in the healthy+mental fatigue group ( $P=0.002$ ), while no other between-group differences were observed.

#### Within-group analyses further demonstrated that

All groups exhibited significant increases in knee valgus following fatigue. All four groups showed significant reductions in knee flexion angle. Significant increases in hip flexion angle were observed in three groups (CAI+functional fatigue, CAI+mental fatigue, and healthy+functional fatigue), whereas no change was found in the healthy+mental fatigue group.

Overall, these findings suggest that both functional and mental fatigue negatively alter the landing biomechanics of athletes with chronic ankle instability, although the magnitude and direction of these effects vary across kinematic variables.

## Conclusion

The present study demonstrated that both functional and mental fatigue induced significant alterations in knee and hip kinematics during single-leg landing, particularly in athletes with CAI. Functional fatigue led to increased knee valgus and reduced knee flexion, both of which are recognized as high-risk movement patterns associated with knee injuries, including anterior cruciate ligament ruptures. Although hip flexion did not show significant changes, this may reflect compensatory mechanisms of proximal musculature. Mental fatigue also contributed to increased knee valgus but exerted a comparatively smaller influence on other variables. Overall, functional fatigue exerted a stronger negative impact on neuromuscular control and joint stability, while mental fatigue, though subtler, still introduced potentially hazardous movement alterations. These findings highlight the heightened vulnerability of athletes with CAI under fatigue conditions and emphasize the need for preventive interventions focused not only on strengthening stabilizing muscles and enhancing neuromuscular control but also on managing both functional and mental fatigue in training and competitive contexts to mitigate injury risk and enhance sports safety.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Islamic Azad University, Boroujerd Branch](#), Boroujerd, Iran (Code: IR.IAU.B.REC.1403.028).

### Funding

This article was extracted from the Master's thesis of Peyman Allahyari approved by [Islamic Azad University, Boroujerd Branch](#), Iran. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

### Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgments

The authors would like to thank all the athletes who participated in this study for their cooperation and time.



مقاله پژوهشی

مقایسه اثر خستگی عملکردی و ذهنی بر کینماتیک فرود ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا

پیمان الهیاری کشکولی<sup>۱</sup>، رحیم میرنصوری<sup>۱</sup>

۱. گروه آموزشی علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.



**Citation** Allahyari Kashkoli P, Mirnasuri R. [Effects of Functional and Mental Fatigues on Landing Kinematics of Athletes With Chronic Ankle Instability (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):900-913. <https://dx.doi.org/10.22037/SJRM.14.6.3381>

**doi** <https://dx.doi.org/10.22037/SJRM.14.6.3381>

چکیده

مقدمه و اهداف پیچ خوردگی مچ پا با شدت متوسط تا شدید می‌تواند به بی‌ثباتی مزمن مچ پا منجر شود و کینماتیک فرود را تحت تأثیر قرار دهد. خستگی عملکردی و ذهنی از عوامل کلیدی در این تغییرات هستند. این مطالعه با هدف مقایسه اثر خستگی عملکردی و ذهنی بر زوایای کینماتیکی فرود تک‌پا در ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و افراد سالم انجام شد.

مواد و روش‌ها در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۴۸ ورزشکار مرد ۱۸ تا ۳۰ ساله (۲۴ نفر با بی‌ثباتی مزمن مچ پا و ۲۴ نفر سالم) به‌صورت تصادفی به ۴ گروه (بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی عملکردی، بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی ذهنی، سالم با خستگی عملکردی، سالم با خستگی ذهنی) تقسیم شدند. آزمون فرود تک‌پا پیش و پس از اعمال پروتکل‌های خستگی اجرا شد و زوایای کینماتیکی (والگوس زانو، فلکشن زانو، فلکشن ران) با نرم‌افزار کینوویا تحلیل شدند. داده‌ها با آزمون شاپیرو ویلک برای نرمال بودن و سپس با استفاده از آزمون تحلیل واریانس دوسویه مختلط (زمان / پیش / پس از اعمال خستگی) × گروه (۴ سطح) با تصحیح بونفرونی برای مقایسه‌های تعقیبی تحلیل شدند.

یافته‌ها در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا پس از خستگی عملکردی نسبت به پیش‌آزمون، زاویه والگوس زانو به‌طور معناداری افزایش یافت ( $P=0/0001$ ) و زاویه فلکشن زانو به‌طور معناداری کاهش پیدا کرد ( $P=0/0001$ ) بعد از زاویه فلکشن زانو نسبت به پیش‌آزمون به طور معناداری کاهش پیدا کرد، درحالی‌که تغییر معناداری در زاویه فلکشن ران مشاهده نشد ( $P=0/113$ ). در گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی ذهنی نیز زاویه والگوس زانو افزایش معناداری داشت ( $P=0/0001$ )، اما در زوایای فلکشن زانو ( $P=0/061$ ) و فلکشن ران ( $P=0/565$ ) تغییری معناداری مشاهده نشد. در مقایسه بین گروهی، گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی عملکردی نسبت به گروه‌های سالم افزایش بیشتری در والگوس زانو ( $P=0/0001$ ) و کاهش بیشتری در فلکشن زانو ( $P=0/0001$ ) نشان داد. همچنین در مقایسه با گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی ذهنی، تغییرات والگوس زانو ( $P=0/148$ ) و فلکشن زانو ( $P=0/061$ ) تغییرات معناداری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری نتایج این مطالعه نشان داد خستگی عملکردی و ذهنی هر دو بر کینماتیک مفاصل زانو و ران در افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا تأثیر گذارند، به‌ویژه با افزایش زاویه والگوس زانو و کاهش فلکشن زانو. خستگی عملکردی اثر منفی بیشتری داشت و باعث تغییرات قابل توجه‌تری در راستای مفصلی شد. این یافته‌ها اهمیت در نظر گرفتن نقش انواع مختلف خستگی را در پیشگیری از آسیب‌های اندام تحتانی نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها بی‌ثباتی مزمن مچ پا، خستگی، کینماتیک، فرود

تاریخ دریافت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۵ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ بهمن ۱۴۰۴

\* نویسنده مسئول:

دکتر رحیم میرنصوری

نشانی: خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه آموزشی علوم ورزشی.

تلفن: ۴۱۶۹۸۶۸ (۹۱۷) +۹۸

رایانامه: [dr\\_mirnasuri@yahoo.com](mailto:dr_mirnasuri@yahoo.com)



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

## مقدمه و اهداف

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح اندازه‌گیری مکرر است که در سال ۱۴۰۳ در شهر شیراز انجام گرفت. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور<sup>۱</sup> (نسخه ۳/۱/۹/۷) و براساس طرح آزمون اندازه‌گیری مکرر<sup>۲</sup> و مطالعه پیشین [۱۵] محاسبه شد. پارامترهای ورودی شامل اندازه اثر (۰/۴۵)، سطح معناداری (۰/۰۵)، توان آماری (۰/۸۰)، تعداد گروه‌ها (۲ گروه سالم و ۲ گروه بی‌ثباتی مچ پا)، تعداد اندازه‌گیری‌های مکرر (۲) و همبستگی بین اندازه‌گیری‌ها (۰/۵) بود. براین اساس حجم نمونه کل ۴۸ نفر (۱۲ نفر در هر گروه) تعیین شد. در مجموع ۴۸ ورزشکار در مطالعه حضور داشتند که شامل ۲۴ فرد مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا و ۲۴ فرد سالم بودند. هریک از این دو گروه اصلی به‌طور تصادفی به ۲ زیرگروه مساوی (۱۲ نفر) تقسیم شدند تا در پروتکل‌های اعمال خستگی ذهنی یا خستگی عملکردی شرکت کنند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر شامل ۴ گروه مستقل (بی‌ثباتی با خستگی ذهنی، بی‌ثباتی با خستگی عملکردی، سالم با خستگی ذهنی و سالم با خستگی عملکردی) بود.

آزمودنی‌های تحقیق به‌صورت هدفمند و در دسترس براساس معیارهای ورود شناسایی شدند و پس از توضیح اهداف و مراحل پژوهش، در صورت تمایل، رضایت‌نامه آگاهانه از آنان اخذ شد. در این مطالعه، معیار ورود برای گروه مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا شامل دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال، سابقه حداقل ۱ سال فعالیت در یکی از رشته‌های ورزشی والیبالی، بسکتبال، فوتبال یا فوتسال، شاخص توده بدنی بین ۱۸ تا ۲۵، سابقه پیچ‌خوردگی یک‌طرفه مچ پا در حداقل ۶ ماه گذشته همراه با درد، تورم یا ناتوانی ورزشی، تجربه حداقل ۲ بار پیچ‌خوردگی یا احساس خالی کردن در ۶ ماه گذشته، کسب نمره کمتر از ۲۴ در پرسش‌نامه بی‌ثباتی مچ پای کامبرلند، نمره کمتر از ۹۰ درصد در پرسش‌نامه شاخص ناتوانی مچ پا و پا<sup>۳</sup> (FADI) و نمره کمتر از ۸۰ درصد در پرسش‌نامه شاخص ورزشی ناتوانی مچ پا و پا<sup>۴</sup> (FADI-Sport) بود. گروه سالم نیز شامل افراد ۱۸ تا ۳۰ سال با حداقل ۱ سال سابقه فعالیت ورزشی مشابه، شاخص توده بدنی بین ۱۸ تا ۲۵ و بدون هرگونه سابقه آسیب‌دیدگی یا ناهنجاری اندام تحتانی بود [۱۶]. معیار خروج از مطالعه برای هر دو گروه عدم تمایل به ادامه همکاری در هر مرحله از پژوهش در نظر گرفته شد. پس از غربالگری و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی و با استفاده از پاکت‌های بسته در ۲ گروه خستگی ذهنی و خستگی عملکردی قرار گرفتند. در روز اجرای آزمون، ابتدا اطلاعات جمعیت‌شناختی شامل قد و وزن ثبت شد و آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه تمرین گرم کردن عمومی انجام دادند. پس از مرحله گرم کردن، آزمون

پیچ‌خوردگی مچ پا یکی از شایع‌ترین آسیب‌ها در ورزشکاران است و حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد آسیب‌های ورزشی را شامل می‌شود. این آسیب مسئول از دست رفتن حدود یک‌ششم زمان شرکت در رقابت‌های ورزشی است. حدود ۸۰ درصد از افرادی که دچار پیچ‌خوردگی اولیه می‌شوند، در آینده دچار پیچ‌خوردگی مجدد خواهند شد [۱، ۲] که در نهایت ممکن است منجر به بی‌ثباتی مزمن مچ پا با علائمی مانند درد، ناپایداری و احساس خالی کردن شود [۳].

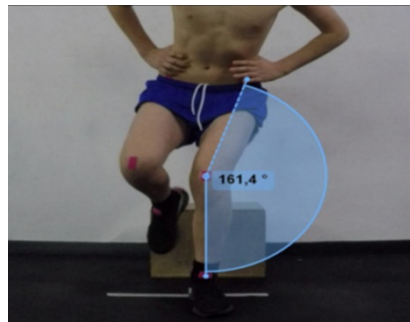
بی‌ثباتی مزمن مچ پا در ورزش‌هایی که شامل پرش، فرود و تغییر جهت ناگهانی هستند (مانند بسکتبال، فوتبال و والیبالی) شایع‌تر است [۴]. مطالعات نشان داده‌اند بسیاری از پیچ‌خوردگی‌ها هنگام فرود در فعالیت‌های ورزشی اتفاق می‌افتند [۵]. ورزشکاران مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا، در مقایسه با ورزشکاران سالم، در هنگام فرود الگوهای حرکتی متفاوتی دارند که ممکن است خطر آسیب مجدد و تخریب مفصل را افزایش دهد. عوامل مختلفی مانند آسیب رباط‌ها، ضعف عضلانی، تأخیر در پاسخ عضلات و نقص حس عمقی پس از پیچ‌خوردگی ممکن است در این تغییرات مؤثر باشند [۶، ۱].

خستگی یکی از عوامل مهم در افزایش خطر آسیب مچ پا است. بسیاری از آسیب‌های ورزشی، به‌ویژه در اواخر تمرین یا مسابقه و در شرایط خستگی رخ می‌دهند [۷]. خستگی می‌تواند باعث کاهش حس عمقی [۸]، اختلال در کنترل وضعیت [۹] و تغییر در الگوهای بیومکانیکی فرود شود؛ از جمله افزایش نیروی برشی قدامی تیبیا، افزایش زاویه والگوس زانو و چرخش داخلی زانو و کاهش زاویه خم شدن زانو و ران در طی فرود گزارش شده است [۱۰، ۷]. ورزش‌هایی مانند فوتبال [۱۱]، بسکتبال [۱۲] و والیبالی [۱۰] که شامل فعالیت‌های شدید و متوالی هستند، زمینه‌ساز بروز خستگی عملکردی در اندام تحتانی می‌شوند.

با وجود اهمیت خستگی عملکردی، مطالعات اخیر نشان داده‌اند خستگی ذهنی نیز می‌تواند عملکرد حرکتی را تحت تأثیر قرار دهد. خستگی ذهنی که ناشی از فعالیت‌های شناختی طولانی‌مدت است، ممکن است باعث کاهش تمرکز، اختلال در کنترل حرکتی و کاهش دقت در اجرای حرکات شود [۱۳]. این نوع خستگی حتی در شرایطی که عضلات هنوز دچار خستگی فیزیکی نشده‌اند، می‌تواند عملکرد را کاهش دهد [۱۴].

نقش خستگی در بروز آسیب‌دیدگی شناخته شده است، اما تحقیقات اندکی به بررسی و مقایسه اثرات خستگی ذهنی و عملکردی بر عملکرد حرکتی در ورزشکاران مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا پرداخته‌اند؛ بنابراین هدف این مطالعه بررسی و مقایسه تأثیر خستگی ذهنی و عملکردی بر کینماتیک فرود تک‌پا (زاویه فلکشن زانو، ران و والگوس زانو) در ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مچ پا و افراد سالم است تا گامی در جهت پیشگیری از آسیب‌های مجدد و طراحی بهتر پروتکل‌های توان‌بخشی برداشته شود.

1. G\*Power
2. F (ANOVA: Repeated measures, between factors)
3. Foot and Ankle Disability Index (FADI)
4. Foot and Ankle Disability Index-Sport (FADI-Sport)



### تصویر ۱. آزمون فرود تک‌پا

### طب توانبخشی

به کمتر از ۵۰ درصد برسد یا به دلیل خستگی ارادی، فرد توانایی ادامه حرکات را نداشته باشد، ادامه می‌یابد.

همچنین پروتکل خستگی ذهنی با استفاده از پروتکل خستگی ذهنی استروپ اجرا شد [۲۱، ۲۲]. به منظور اجرای این پروتکل از نرم‌افزار استروپ<sup>۲</sup> که دارای روایی ۰/۸۵ است استفاده شد [۲۱، ۲۲]. این پروتکل شامل استفاده از واژه‌های رنگی (آبی، قرمز، زرد، سبز) است که با رنگ متفاوت یا هم‌رنگ نمایش داده می‌شود (مثلاً کلمه قرمز به رنگ زرد نمایش داده شد یا با همان رنگ نمایش داده شد). آزمودنی‌ها باید یکی از ۴ کلید رنگی را مطابق با رنگ موردنظر و بدون توجه به نام رنگ موردنظر فشار بدهند (به‌عنوان مثال برای نمایش کلمه قرمز به رنگ سبز، آزمودنی کلید سبز را انتخاب کند). یا در مرحله بعد از آزمودنی خواسته شد که در این مرحله با نادیده گرفتن دستورالعمل قبلی حالا کلید مربوط به نام رنگ را انتخاب کند. به‌عنوان مثال، برای کلمه زرد با رنگ قرمز، آن‌ها باید کلید زرد را فشار دهند. به آزمودنی‌ها تذکر داده شد که با دقت و سرعت انتخاب کنند. پروتکل خستگی استروپ با استفاده از نرم‌افزار DMDX محاسبه و نمایش داده شد. برای ایجاد خستگی ذهنی اجرای پروتکل خستگی ذهنی استروپ به مدت ۳۰ دقیقه اجرا شد [۲۱، ۲۲].

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ در سطح معناداری ۰/۰۵ انجام گرفت. آماری توصیفی به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون آماری شاپیرو ویلک بررسی شد. پس از بررسی توزیع نرمال و واریانس داده‌ها، از تحلیل واریانس دوسویه مختلط<sup>۳</sup> (زمان [پیش/پس از اعمال خستگی] × گروه [۴ سطح]) با تصحیح بونفرونی<sup>۴</sup> برای مقایسه‌های تعقیبی استفاده شد.

فرود تک‌پا به‌عنوان پیش‌آزمون اجرا شد و بلافاصله پس از اعمال خستگی، همین آزمون مجدداً تکرار شد تا اثر خستگی بر عملکرد آزمودنی‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

آزمون فرود تک‌پا: به‌منظور ثبت تصاویر ۲ بعدی آزمون فرود تک‌پا دوربین‌های فیلم‌برداری دیجیتال در فاصله ۲ متری و در ۲ نمای روبه‌رو و جانبی آزمودنی قرار گرفتند. آماده‌سازی آزمودنی شامل نصب مارکرهای رفلکسی بر روی نقاط آناتومیکی قوزک‌های جانبی، قسمت دیستال و فاصله بین ۲ قوزک جانبی و داخلی، برجستگی درشت‌نی، خط جانبی مفصل زانو، برجستگی بزرگ استخوان ران و خار خارصه قدامی فوقانی بود. روش اجرای آزمون فرود تک‌پا: آزمودنی بر روی جعبه ۳۰ سانتی‌متری ایستاد و دست‌هایش بر روی کنار لگن قرار گرفتند. با علامت آزمونگر فرود تک‌پا با پای آسیب‌دیده برای گروه دارای بی‌ثباتی مچ پا و با پای غالب برای گروه سالم انجام شد (تصویر شماره ۱). تمامی آزمودنی‌ها راست‌پا بودند و به همین دلیل آزمون فرود تک‌پا در هر دو گروه با پای راست انجام شد. زاویه‌های فلکشن ران و زانو در صفحه ساجیتال و زاویه والگوس زانو در صفحه فرونتال با استفاده از نرم‌افزار کینوویا<sup>۵</sup> اندازه‌گیری شد [۱۷، ۱۸]. هر فرد ۳ بار آزمون فرود موفق را انجام داد و اگر هرگونه حرکت اضافی و یا بی‌تعادلی مشاهده می‌شد آزمون مجدداً تکرار می‌شد. روایی و پایایی نرم‌افزار کینوویا به‌منظور تحلیل زوایا مورد تأیید قرار گرفته است [۱۹].

پروتکل خستگی عملکردی در این مطالعه مطابق با پروتکل خستگی چپل و همکاران [۲۰] بود که توسط لیو و همکاران [۱۰] اصلاح شد. این پروتکل خستگی نزدیک‌ترین پروتکل خستگی به فعالیت والیبالیست‌ها است. در این پروتکل ابتدا از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود ۳ پرش عمودی از حالت اسکوات تا حداکثر ارتفاع ممکن انجام بدهند تا حداکثر ارتفاع پرش عمودی فرد مشخص شود. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد تا ۶ بار مسیر ۱۰ متری مشخص شده را با حداکثر سرعت بدونند. سپس بلافاصله ۵ پرش عمودی در جا در مکان مشخص شده انجام بدهند. این روند تا زمانی که میانگین ارتفاع پرش عمودی متوالی یا زمان طی کردن چرخه

6. Stroop Software  
7. Mixed two-way ANOVA  
8. Bonferroni

5. Kinovea

جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها (n=۱۲)

متغیر	میانگین ± انحراف معیار			
	گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی	بی‌ثباتی مزمن + خستگی ذهنی	سالم + خستگی عملکردی	سالم + خستگی عملکردی
سن (سال)	۲۳/۲ ± ۶۷/۰۰	۲۴/۲ ± ۵۸/۹۷	۲۴/۲ ± ۵۸/۷۴	۲۳/۳ ± ۷۵/۰۲
قد (سانتی‌متر)	۱۸۰/۴ ± ۷۵/۶۹	۱۷۷/۲ ± ۳۳/۹۰	۱۷۹/۴ ± ۷۵/۰۴	۱۸۰/۳ ± ۵۸/۵۵
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۵ ± ۶۷/۸۵	۷۳/۳ ± ۲۵/۸۲	۷۴/۵ ± ۹۲/۹۱	۷۶/۵ ± ۰۰/۸۸
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۳/۰ ± ۱۳/۹۹	۲۳/۱ ± ۲۹/۰۵	۲۳/۱ ± ۱۵/۱۰	۲۳/۱ ± ۲۷/۲۰

## طب توانبخشی

## یافته‌ها

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد هر دو نوع خستگی (عملکردی و ذهنی) به تغییرات معنادار در الگوی کینماتیک فرود ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا منجر شدند، اگرچه شدت و الگوی این تغییرات در متغیرهای مختلف متفاوت بوده است.

باتوجه به نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب و وجود تعامل معنادار بین زمان و گروه در هر سه متغیر ولگوس زانو، فلکشن زانو و فلکشن ران در ادامه به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثر بین‌گروهی و بررسی تفاوت‌های بین‌گروهی در پس‌آزمون از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد (جدول شماره ۳).

برای بررسی دقیق‌تر تفاوت‌های بین‌گروهی کینماتیک فرود تک‌پا در پس‌آزمون، از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد (جدول شماره ۳).

## نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی

## زاویه والگوس زانو

گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی نسبت به گروه‌های سالم + خستگی عملکردی (اختلاف میانگین: ۴/۸۸۳،  $P=0/0001$ ) و سالم + خستگی ذهنی (اختلاف میانگین: ۵/۲۱۷،  $P=0/0001$ ) افزایش معناداری بیشتری در زاویه والگوس زانو نشان داد. همچنین گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی ذهنی نسبت به گروه‌های سالم + خستگی عملکردی (اختلاف میانگین: ۳/۱۰۸،  $P=0/0001$ ) و سالم + خستگی ذهنی (اختلاف میانگین: ۳/۴۴۲،  $P=0/0001$ ) افزایش معناداری بیشتری داشت. این یافته‌ها به این معناست که بی‌ثباتی مزمن مچ پا همراه با خستگی (به‌ویژه خستگی عملکردی) باعث افزایش قابل توجه زاویه والگوس زانو می‌شود. بین گروه‌های بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی و بی‌ثباتی مزمن + خستگی ذهنی و همچنین سالم + خستگی عملکردی و سالم + خستگی ذهنی تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $P>0/05$ ).

نتایج نشان داد بین گروه‌ها از نظر سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی تفاوت معناداری وجود نداشت ( $P>0/05$ ) و گروه‌ها از نظر ویژگی‌های فردی همسان بودند (جدول شماره ۱).

یافته‌های مربوط به متغیرهای کینماتیک: میانگین و انحراف معیار متغیرهای زاویه والگوس زانو، فلکشن زانو و فلکشن ران به تفکیک زمان (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و گروه‌ها، همراه با نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب در جدول شماره ۲ گزارش شده است. همچنین مقایسه مقادیر پیش‌آزمون بین گروه‌ها نشان داد تفاوت معناداری وجود نداشت ( $P<0/05$ ).

میانگین و انحراف معیار متغیرهای زاویه والگوس زانو، فلکشن زانو و فلکشن ران به تفکیک مراحل (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و گروه‌ها در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

## نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب

## زاویه والگوس زانو

اثر درون‌گروهی تفاوت معناداری را نشان داد ( $F_{(1,44)}=197/140$ )،  $P<0/05$ ، همچنین تعامل بین مرحله و گروه معنادار بود ( $F_{(3,44)}=24/311$ )،  $P<0/05$  و اثر بین‌گروهی نیز معنادار گزارش شد ( $F_{(3,44)}=13/675$ )،  $P<0/05$ .

## زاویه فلکشن زانو

تفاوت درون‌گروهی معنادار بود ( $F_{(1,44)}=535/513$ )،  $P<0/05$ ، تعامل مرحله و گروه نیز معنادار گزارش شد ( $F_{(3,44)}=55/688$ )،  $P<0/05$  و اثر بین‌گروهی معنادار بود ( $F_{(3,44)}=6/937$ )،  $P<0/05$ .

## زاویه فلکشن ران

اثر درون‌گروهی تفاوت معناداری را نشان داد ( $F_{(1,44)}=837/672$ )،  $P<0/05$ ، تعامل مرحله و گروه نیز معنادار بود ( $F_{(3,44)}=19/640$ )،  $P<0/05$ ، اما اثر بین‌گروهی معنادار نبود ( $F_{(3,44)}=1/965$ )،  $P>0/05$ .

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب و میانگین و انحرافمعیار منشیرهای پژوهش به تفکیک گروه‌ها

اندازه اثر	اثر زمان* گروه		اثر زمان		اثر گروه		میانگین $\pm$ انحرافمعیار		گروه	نوع پیچ
	معنی داری	F	معنی داری	F	معنی داری	F	پیش آزمون	پس آزمون		
۰/۶۲۳	۰/۰۰۰۰۱	۳۳/۳۱۱	۰/۸۸۸	۱۹۷/۱۴۰	۰/۰۰۰۰۱	۱۳/۶۷۵	۱۲۸ $\pm$ ۹۷/۸۷	۹/۲ $\pm$ ۶/۰۵	بی ثباتی مزمن + خستگی عملکردی	والگوس زانو (درجه)
	۰/۰۰۰۰۱	۲۵/۴۰۹	۰/۸۸۸	۶۸/۶۸۲	۰/۰۰۰۰۱	۴/۳۳۳	۸۱ $\pm$ ۸۸۹	۷/۱ $\pm$ ۷/۷۸	سالم + خستگی عملکردی	
	۰/۰۰۰۰۱	۳۳/۳۱۱	۰/۸۸۸	۶۸/۶۸۲	۰/۰۰۰۰۱	۱۳/۶۷۵	۱۱۲ $\pm$ ۱۹۷/۰۱	۹/۱ $\pm$ ۶/۹۳	بی ثباتی مزمن + خستگی ذهنی	
۰/۸۹۲	۰/۰۰۰۰۱	۵۵/۶۸۸	۰/۹۲۳	۳۹/۱۲۸	۰/۰۰۰۰۱	۶/۹۳۷	۷/۱ $\pm$ ۷۵/۷۸	۷/۱ $\pm$ ۶/۷۲	سالم + خستگی ذهنی	فلکشن زانو
	۰/۰۰۰۰۱	۱۵۵/۷۱۶	۰/۹۲۳	۵۳/۵۱۳	۰/۰۰۰۰۱	۶۹/۳۷	۱۱۰/۴ $\pm$ ۱/۰۸	۱۸۳ $\pm$ ۵۹/۷۴	بی ثباتی مزمن + خستگی عملکردی	
	۰/۰۰۰۰۱	۵۵/۶۸۸	۰/۹۲۳	۳۹/۱۲۸	۰/۰۰۰۰۱	۶۹/۳۷	۱۱۹/۴ $\pm$ ۱۹/۵۱	۱۲۱/۴ $\pm$ ۸۲/۶۴	سالم + خستگی عملکردی	
۰/۵۲۳	۰/۰۰۰۰۱	۱۹/۶۴۰	۰/۹۵۰	۸۳۷/۶۲۳	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۱۹/۴ $\pm$ ۵۵/۴۵	۱۲۱/۴ $\pm$ ۶۷/۷۱	سالم + خستگی ذهنی	فلکشن ران
	۰/۰۰۰۰۱	۹۷/۳۵۴	۰/۹۵۰	۱۳۸۵/۳۹۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۳۸/۴ $\pm$ ۰/۳۴	۱۱۷/۳ $\pm$ ۱۸/۸۷	بی ثباتی مزمن + خستگی عملکردی	
	۰/۰۰۰۰۱	۹۷/۳۵۴	۰/۹۵۰	۱۳۸۵/۳۹۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۱۲/۴ $\pm$ ۹۷/۰۳	۱۱۶/۴ $\pm$ ۵۰/۳۷	سالم + خستگی عملکردی	
۰/۵۲۳	۰/۰۰۰۰۱	۱۹/۶۴۰	۰/۹۵۰	۸۳۷/۶۲۳	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۱۲/۴ $\pm$ ۳۴/۲۸	۱۱۷/۳ $\pm$ ۵۲/۲۲	بی ثباتی مزمن + خستگی ذهنی	فلکشن زانو
	۰/۰۰۰۰۱	۹۷/۳۵۴	۰/۹۵۰	۱۳۸۵/۳۹۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۳۲/۴ $\pm$ ۳۴/۲۸	۱۱۷/۳ $\pm$ ۵۲/۲۲	بی ثباتی مزمن + خستگی ذهنی	
	۰/۰۰۰۰۱	۹۷/۳۵۴	۰/۹۵۰	۱۳۸۵/۳۹۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸۶/۵۵۸	۱۳۲/۴ $\pm$ ۳۴/۲۸	۱۱۷/۳ $\pm$ ۵۲/۲۲	بی ثباتی مزمن + خستگی ذهنی	

\*معنی داری در سطح  $p < 0.05$

جدول ۳. اطلاعات آزمون تعقیبی بونفرونی مربوط به کینماتیک فرود تک‌پا (تغییرات بین گروهی)

متغیر	گروه	گروه	اختلاف میانگین	معناداری
زاویه والگوس زانو	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	۱/۷۷۵	۰/۱۴۸
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	سالم+خستگی عملکردی	۴/۸۸۳	۰/۰۰۰۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	سالم+خستگی ذهنی	۵/۲۱۷	۰/۰۰۰۱
		سالم+خستگی عملکردی	۳/۱۰۸	۰/۰۰۱
	سالم+خستگی عملکردی	سالم+خستگی ذهنی	۳/۴۴۲	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی عملکردی	سالم+خستگی ذهنی	۰/۳۳۳	۱/۰۰۰
زاویه فلکشن زانو	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	-۴/۴۵۰	۰/۰۶۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	سالم+خستگی عملکردی	-۹/۱۸۳	۰/۰۰۰۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	سالم+خستگی ذهنی	-۹/۵۴۲	۰/۰۰۰۱
		سالم+خستگی عملکردی	-۴/۷۳۳	۰/۰۳۹
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	سالم+خستگی ذهنی	-۵/۰۹۲	۰/۰۲۲
	سالم+خستگی عملکردی	سالم+خستگی ذهنی	-۰/۳۵۸	۱/۰۰۰
زاویه فلکشن ران	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	۳/۶۶۷	۰/۲۲۸
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	سالم+خستگی عملکردی	۴/۰۶۷	۰/۱۳۹
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	سالم+خستگی ذهنی	۶/۶۲۵	۰/۰۰۰۲
		سالم+خستگی عملکردی	۰/۴۰۰	۱/۰۰۰
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	سالم+خستگی ذهنی	۲/۹۵۸	۰/۵۶۵
	سالم+خستگی عملکردی	سالم+خستگی ذهنی	۲/۵۵۸	۰/۸۷۷

\*معنی‌داری در سطح  $P > 0.05$ 

## طب توانبخشی

## زاویه فلکشن ران

گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی نسبت به گروه سالم + خستگی ذهنی افزایش معناداری بیشتری در زاویه فلکشن ران نشان داد (اختلاف میانگین:  $6/625$ ،  $P=0/002$ ). این افزایش به این معناست که خستگی عملکردی در افراد با بی‌ثباتی مزمن منجر به فلکشن بیشتر ران می‌شود. بین سایر گروه‌ها در این متغیر تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ).

در ادامه برای بررسی تغییرات درون گروهی در متغیر کینماتیک فرود تک‌پا از آزمون تعقیبی بونفرونی (جدول شماره ۴) استفاده شد.

در بررسی تغییرات درون گروهی، نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی (جدول شماره ۴):

## زاویه فلکشن زانو

گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی نسبت به گروه‌های سالم + خستگی عملکردی (اختلاف میانگین:  $9/183$ ،  $P=0/0001$ ) و سالم+خستگی ذهنی (اختلاف میانگین:  $9/542$ ،  $P=0/0001$ ) کاهش معناداری بیشتری در زاویه فلکشن زانو نشان داد. گروه بی‌ثباتی مزمن + خستگی ذهنی نیز نسبت به گروه‌های سالم + خستگی عملکردی (اختلاف میانگین:  $4/733$ ،  $P=0/039$ ) و سالم + خستگی ذهنی (اختلاف میانگین:  $5/092$ ،  $P=0/022$ ) کاهش معناداری بیشتری داشت. این کاهش‌ها به این معناست که بی‌ثباتی مزمن منجر به کاهش فلکشن زانو به صورت معناداری می‌شود. بین گروه‌های بی‌ثباتی مزمن + خستگی عملکردی و بی‌ثباتی مزمن + خستگی ذهنی و همچنین سالم+خستگی عملکردی و سالم + خستگی ذهنی تفاوت معناداری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ).

جدول ۴. اطلاعات آزمون تعقیبی بونفرونی مربوط کینماتیک فرود تک پا (تغییرات درون گروهی)

متغیر	گروه	تفاوت میانگین‌ها	معناداری
زاویه والگوس زانو	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	-۲/۲۵۰	۰/۰۰۰۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	-۱/۷۲۵	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی عملکردی	-۱/۰۰۸	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی ذهنی	-۰/۶۸۳	۰/۰۰۰۷
زاویه فلکشن زانو	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	۸/۵۸۳	۰/۰۰۰۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	۲/۹۰۰	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی عملکردی	۲/۶۴۲	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی ذهنی	۲/۱۱۷	۰/۰۰۰۱
زاویه فلکشن ران	بی‌ثباتی مزمن+خستگی عملکردی	۱/۱۵۷	۰/۰۰۰۱
	بی‌ثباتی مزمن+خستگی ذهنی	۱/۲۴۱	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی عملکردی	۱/۱۵۷	۰/۰۰۰۱
	سالم+خستگی ذهنی	۰/۰۹۳	۰/۶۳۰

\*معنی‌داری در سطح  $P > 0.05$

طب توانبخش

به گروه‌های سالم داشتند. با این حال بین گروه‌های سالم با انواع خستگی و همچنین بین گروه‌های بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی‌های مختلف، تفاوت معناداری در زاویه والگوس مشاهده نشد. در متغیر فلکشن ران، گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی عملکردی نسبت به گروه سالم با خستگی ذهنی افزایش معناداری نشان داد. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر منفی خستگی بر کنترل عصبی عضلانی و پایداری مفاصل در افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا است که می‌تواند خطر آسیب‌های ثانویه را افزایش دهد.

خستگی عملکردی منجر به افزایش زاویه والگوس زانو و کاهش فلکشن زانو در ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا شد. در حالی که تغییرات در فلکشن ران محدود بود. افزایش زاویه والگوس زانو پس از خستگی، به‌ویژه نگران‌کننده است، زیرا این الگوی حرکتی با خطر بالاتر آسیب‌های زانو، از جمله آسیب‌های رباط صلیبی قدامی همراه است [۲۳]. والگوس زانو، ترکیبی از اداکشن ران و اداکشن زانو، اغلب توسط ضعف عضلات اداکتور ران و چرخاننده‌های خارجی که برای حفظ راستای مناسب زانو در حین فعالیت‌های دینامیکی ضروری هستند، تشدید می‌شود [۲۴]. افزایش مشاهده‌شده در زاویه والگوس زانو در گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا تحت شرایط خستگی عملکردی، نشان‌دهنده خطر بیشتر آسیب زانو است که ممکن است به دلیل کنترل عصبی عضلانی مختل یا خستگی عضلانی در عضلات تثبیت‌کننده باشد [۱۶، ۲۵]. کاهش زاویه فلکشن زانو پس از خستگی عملکردی نیز از ایده اختلال در کنترل عصبی عضلانی

در زاویه والگوس زانو، همه گروه‌ها پس از اعمال خستگی افزایش معناداری در زاویه والگوس نشان دادند (بی‌ثباتی مزمن + عملکردی:  $P=0.0001$ ، بی‌ثباتی مزمن + ذهنی:  $P=0.0001$ ، سالم + عملکردی:  $P=0.0001$ ، سالم + ذهنی:  $P=0.0007$ )

در زاویه فلکشن زانو، هر ۴ گروه کاهش معناداری در زاویه فلکشن زانو داشتند ( $P=0.0001$ ).

در زاویه فلکشن ران، ۳ گروه «بی‌ثباتی مزمن+عملکردی»، «بی‌ثباتی مزمن+ذهنی» و «سالم+عملکردی» افزایش معناداری در زاویه فلکشن ران داشتند ( $P=0.0001$ )، اما در گروه «سالم+ذهنی» تغییر معناداری در زاویه فلکشن ران مشاهده نشد ( $P=0.630$ ).

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر خستگی عملکردی و ذهنی بر متغیرهای کینماتیکی زانو و ران هنگام فرود تک‌پایی در ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و افراد سالم بود. نتایج نشان داد هر دو نوع خستگی (عملکردی و ذهنی) باعث تغییرات معناداری در زوایای والگوس زانو، فلکشن زانو و فلکشن ران شدند البته با تفاوت‌های درون‌گروهی و تعاملی بین گروه‌ها و زمان. همچنین تفاوت‌های بین‌گروهی در زوایای والگوس زانو و فلکشن زانو مشاهده شد، اما برای فلکشن ران تفاوت معناداری وجود نداشت. آزمون تعقیبی بونفرونی تأیید کرد در پس‌آزمون، گروه‌های دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا با خستگی عملکردی و ذهنی، زاویه والگوس بیشتری و فلکشن زانوی کمتری نسبت

باعث افزایش اینورژن مچ پا و والگوس زانو در سمت آسیب دیده طی تغییر جهت غیرمنتظره می شود [۲۶].

پاجیاس و همکاران نیز گزارش کردند ۳۰ دقیقه تلاش ذهنی، عملکرد استقامتی و کنترل حرکت را کاهش می دهد که می تواند توضیح دهنده کاهش فلکشن زانو در این مطالعه باشد [۲۷]. ونیز و همکاران نیز نشان دادند خستگی ذهنی بر کینماتیک ورزشکاران تأثیر منفی می گذارد، به ویژه در فعالیت های دینامیک [۲۸]؛ بنابراین خستگی ذهنی، هر چند ظریف تر از خستگی عملکردی، همچنان می تواند خطر آسیب را از طریق تأثیر بر راستای مفاصل افزایش دهد. این امر اهمیت توجه به خستگی ذهنی را در ورزش های نیازمند تصمیم گیری سریع و بار شناختی بالا، مانند والیبال و بسکتبال، نشان می دهد و نیاز به استراتژی هایی مانند مدیریت استرس شناختی را برجسته می کند.

مقایسه بین خستگی عملکردی و ذهنی نشان داد خستگی عملکردی تأثیر منفی بیشتری بر کینماتیک فرود در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا دارد؛ با تغییرات شدیدتر در زوایای والگوس زانو و فلکشن زانو نسبت به خستگی ذهنی. این تفاوت احتمالاً به تأثیر مستقیم خستگی عضلانی بر قدرت و استقامت عضلات تثبیت کننده، مانند عضلات ابداکتور ران و فلکسورهای زانو، نسبت به خستگی ذهنی مرتبط است که بیشتر بر جنبه های شناختی اثر می گذارد [۲۹، ۲۶]. کونگ و همکاران نیز گزارش کردند خستگی عضلانی نسبت به خستگی ذهنی تأثیر بیشتری بر بیومکانیک مچ پا در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا دارد [۲۶]. گریبل و همکاران و کونوگی و همکاران نیز بر تأثیر شدیدتر خستگی فیزیکی در افراد دارای بی ثباتی مزمن مچ پا تأکید کردند، به ویژه در فعالیت های دینامیک، مانند فرود [۷، ۱۶]. این یافته ها نشان می دهند خستگی عملکردی عامل غالب در اختلال کینماتیک است، زیرا مستقیماً توانایی عضلات برای حفظ راستای مفاصل را کاهش می دهد.

در مقابل، خستگی ذهنی، اگرچه همچنان مؤثر است، ممکن است به آستانه ای نرسیده باشد که منجر به تغییرات قابل توجه در زوایای فلکشن زانو و ران شود. این موضوع می تواند نشان دهد سیستم عصبی مرکزی توانایی بیشتری برای جبران خستگی ذهنی دارد، حداقل در کوتاه مدت، که به ورزشکاران اجازه می دهد تا استراتژی های حرکتی خود را علی رغم اختلال شناختی حفظ کنند [۲۶]. باین حال، افزایش زاویه والگوس زانو تحت شرایط خستگی ذهنی همچنان نشان دهنده پتانسیل تغییرات ظریف، اما قابل توجه در کینماتیک حرکت است که می تواند خطر آسیب را در طول زمان افزایش دهد [۲۶].

از جمله محدودیت های این پژوهش می توان به انتخاب نمونه هایی صرفاً از میان ورزشکاران مرد مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا اشاره کرد که تعمیم پذیری نتایج به سایر گروه های

حمایت می کند [۱۶]. فلکشن زانو در حین فرود برای جذب ضربه بسیار مهم است؛ کاهش فلکشن باعث افزایش بار بر ساختارهای غیرفعال مانند رباطها می شود که می تواند منجر به آسیب شود [۲۰]. در ورزشکاران مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا، این کاهش در فلکشن زانو ممکن است با مکانیسم محافظتی مرتبط باشد که هدف آن کاهش ناپایداری مچ پا است، اگرچه این کار به هزینه افزایش بار مفصل زانو انجام می شود [۱۶]. جالب اینجاست که فلکشن هیپ پس از خستگی عملکردی تغییرات قابل توجهی نشان نداد. این نتیجه می تواند نشان دهد عضلات ران، علی رغم خستگی، همچنان قادر به حفظ نقش خود در زنجیره حرکتی بودند، یا ممکن است نشان دهنده یک استراتژی جبرانی باشد که در آن سایر عضلات یا مفاصل فشار خستگی را تحمل می کنند. باین حال، عدم تغییر قابل توجه در فلکشن هیپ از اهمیت عملکرد ران در پایداری کلی اندام تحتانی نمی کاهد، بلکه پیچیدگی تأثیرات خستگی بر مفاصل و گروه های عضلانی مختلف را برجسته می کند.

این نتایج با یافته های گریبل و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی دارد که نشان دادند افراد دارای بی ثباتی مزمن مچ پا پس از خستگی، زاویه زانوی کوچک تری در آزمون تعادل ستاره نشان می دهند که نشانه ای از اختلال در کنترل پوسچرال است [۷]. کونوگی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند افراد دارای بی ثباتی مزمن مچ پا پس از خستگی، کاهش اداکشن هیپ، فلکشن زانو و دورسی فلکشن را در فرود تک پا نشان می دهند که با کاهش فلکشن زانو در این مطالعه هم راستاست [۱۶]. چپل و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأکید کردند خستگی عملکردی باعث افزایش بار بر رباطها می شود که با یافته های حاضر در مورد کاهش فلکشن زانو و افزایش والگوس زانو مطابقت دارد [۲۰]. در نتیجه خستگی عملکردی با تشدید راستای نامناسب زانو و کاهش توانایی جذب ضربه، خطر آسیب های زانو را در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا افزایش می دهد. این امر نیاز به برنامه های تمرینی متمرکز بر تقویت عضلات تثبیت کننده و مدیریت خستگی را برای پیشگیری از آسیب های ثانویه برجسته می کند.

خستگی ذهنی نیز در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا منجر به افزایش زاویه والگوس زانو و کاهش فلکشن زانو شد، اما تأثیر آن بر فلکشن ران قابل توجه نبود. این اثرات احتمالاً به اختلال در عملکرد شناختی ناشی از خستگی ذهنی، مانند تأخیر در پاسخ های حرکتی و کاهش دقت در کنترل مفاصل، مرتبط است [۲۷، ۲۶]. افزایش والگوس زانو می تواند نتیجه کاهش تمرکز بر راستای مناسب زانو باشد، در حالی که حفظ نسبی فلکشن ران ممکن است به مکانیسم های جبرانی سیستم عصبی مرکزی مربوط شود که تلاش می کند ثبات مفصل را حفظ کند [۲۶]. این یافته ها با مطالعه کونگ و همکاران همخوانی دارد که نشان دادند خستگی ذهنی در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد پیمان الهیاری در **دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد** است و هیچ گونه کمک مالی از سازمان تأمین کننده مالی در بخش های دولتی و عمومی، تجاری یا دانشگاه دریافت نشده است.

### مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش نویس مقاله مشارکت داشتند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی ورزشکارانی که در این مطالعه شرکت کردند، تشکر و قدردانی می کنند.

جمعیتی، از جمله زنان ورزشکار یا افراد غیرورزشکار را محدود می کند. همچنین استفاده از روش های دوبعدی تحلیل کینماتیک می تواند دقت بررسی های حرکتی را در مقایسه با سیستم های سه بعدی کاهش دهد. پیشنهاد می شود پژوهش های آینده با در نظر گرفتن تفاوت های جنسیتی، نمونه گیری از گروه های متنوع تر و به کارگیری ابزارهای دقیق تر و پیشرفته تر تجزیه و تحلیل حرکتی نظیر سیستم های سه بعدی تحلیل حرکت، اثر خستگی عملکردی و ذهنی را به شکل جامع تری مورد بررسی قرار دهند.

### نتیجه گیری

یافته های پژوهش حاضر نشان دادند خستگی، چه از نوع عملکردی (فیزیکی) و چه از نوع ذهنی، تأثیرات معناداری بر متغیرهای کینماتیکی زانو و ران در هنگام فرود تک پایی دارد، به ویژه در ورزشکاران دارای بی ثباتی مزمن مچ پا. خستگی عملکردی باعث افزایش زاویه والگوس زانو و کاهش فلکشن زانو شد که هر دو با الگوهای حرکتی پرخطر و افزایش احتمال آسیب های زانو، از جمله آسیب های رباط صلیبی قدامی مرتبط هستند. در حالی که فلکشن ران تحت تأثیر معنادار خستگی عملکردی قرار نگرفت. این می تواند ناشی از مکانیسم های جبرانی عضلات پروگزیمال باشد. از سوی دیگر، خستگی ذهنی نیز منجر به افزایش زاویه والگوس زانو شد، اما تغییر معناداری در زوایای فلکشن زانو و ران مشاهده نشد. این یافته ها نشان می دهند اگر چه خستگی ذهنی ممکن است تأثیر کمتری نسبت به خستگی عملکردی بر پارامترهای حرکتی داشته باشد، اما همچنان می تواند موجب تغییراتی خطرناک در الگوی حرکت شود. در مجموع، نتایج حاکی از آن است که ورزشکاران مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا، به ویژه در شرایط خستگی در معرض خطر بیشتری برای بروز آسیب های مرتبط با عملکرد دینامیکی هستند؛ بنابراین مداخلات پیشگیرانه باید نه تنها بر بهبود کنترل عصبی عضلانی و قدرت عضلات تثبیت کننده تمرکز داشته باشند، بلکه توجه ویژه ای نیز به مدیریت خستگی ذهنی در شرایط تمرینی و رقابتی داشته باشند. در نظر گرفتن هر دو نوع خستگی در طراحی تمرینات و ارزیابی عملکرد می تواند در کاهش خطر آسیب و بهبود ایمنی ورزشی مؤثر باشد.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اجرای پژوهش حاضر مطابق با ملاحظات اخلاقی کمیته اخلاق در پژوهش **دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد** در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره (IR.IAU.B.REC.1403.028) دریافت شد.

## References

- [1] Xue X, Ma T, Li Q, Song Y, Hua Y. Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*. 2021; 10(2):182-91. [DOI:10.1016/j.jshs.2020.09.014] [PMID]
- [2] Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, Hertel J, Ryan J, Bleakley C. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: A systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*. 2014; 44(1):123-40. [DOI:10.1007/s40279-013-0102-5] [PMID]
- [3] Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Caulfield B, Ryan J, Delahunt E. Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: A prospective cohort analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44(4):995-1003. [DOI:10.1177/0363546516628870] [PMID]
- [4] Lin CI, Mayer F, Wippert PM. The prevalence of chronic ankle instability in basketball athletes: A cross-sectional study. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 2022; 14(1):27. [DOI:10.1186/s13102-022-00418-0] [PMID]
- [5] Theisen A, Day J. Chronic ankle instability leads to lower extremity kinematic changes during landing tasks: A systematic review. *International Journal of Exercise Science*. 2019; 12(1):24-33. [DOI:10.70252/DTNP3988] [PMID]
- [6] Simpson JD, Stewart EM, Macias DM, Chander H, Knight AC. Individuals with chronic ankle instability exhibit dynamic postural stability deficits and altered unilateral landing biomechanics: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*. 2019; 37:210-219. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.06.003] [PMID]
- [7] Gribble PA, Hertel J, Denegar CR, Buckley WE. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *Journal of Athletic Training*. 2004; 39(4):321-9. [PMID]
- [8] Wright CJ, Arnold BL. Fatigue's effect on eversion force sense in individuals with and without functional ankle instability. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2012; 21(2):127-36. [DOI:10.1123/jsr.21.2.127] [PMID]
- [9] Lee M, Youm C, Son M, Kim J, Kim Y. Effects of chronic ankle instability and induced mediolateral muscular fatigue of the ankle on competitive taekwondo athletes. *Journal of Physical Therapy Science*. 2017; 29(8):1329-35. [DOI:10.1589/jpts.29.1329] [PMID]
- [10] Liu Y, Song Q, Zhou Z, Chen Y, Wang J, Tian X, et al. Effects of fatigue on balance and ankle proprioception during drop landing among individuals with and without chronic ankle instability. *Journal of Biomechanics*. 2023; 146:111431. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2022.111431] [PMID]
- [11] Pau M, Ibba G, Attene G. Fatigue-induced balance impairment in young soccer players. *Journal of Athletic Training*. 2014; 49(4):454-61. [DOI:10.4085/1062-6050-49.2.12] [PMID]
- [12] Li F, Knjaz D, Rupčić T. Influence of fatigue on some kinematic parameters of basketball passing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(2):700. [DOI:10.3390/ijerph18020700] [PMID]
- [13] Lorist MM, Boksem MA, Ridderinkhof KR. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Brain Research. Cognitive Brain Research*. 2005; 24(2):199-205. [DOI:10.1016/j.cogbrainres.2005.01.018] [PMID]
- [14] Olson RL, Chang YK, Brush CJ, Kwok AN, Gordon VX, Alderman BL. Neurophysiological and behavioral correlates of cognitive control during low and moderate intensity exercise. *Neuroimage*. 2016; 131:171-80. [DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.10.011] [PMID]
- [15] Becker S, Simon S, Dindorf C, Dully J, Bartaguiz E, Schmitz L, et al. Fatigue as a key factor for testing knee stability with single leg drop landing for injury prevention and return to play tests. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2023; 5:1243732. [DOI:10.3389/fspor.2023.1243732] [PMID]
- [16] Kunugi S, Masunari A, Koumura T, Fujimoto A, Yoshida N, Miyakawa S. Altered lower limb kinematics and muscle activities in soccer players with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport*. 2018; 34:28-35. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.08.003] [PMID]
- [17] Huston LJ, Vibert B, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. Gender differences in knee angle when landing from a drop-jump. *The American Journal of Knee Surgery*. 2001; 14(4):215-9. [PMID]
- [18] Yu B, Lin C-F, Garrett WE. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanics*. 2006; 21(3):297-305. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2005.11.003] [PMID]
- [19] Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, Busquets A, Padulles-Chando X, Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *Plos One*. 2019; 14(6):e0216448. [DOI:10.1371/journal.pone.0216448] [PMID]
- [20] Chappell JD, Herman DC, Knight BS, Kirkendall DT, Garrett WE, Yu B. Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *The American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33(7):1022-9. [DOI:10.1177/0363546504273047] [PMID]
- [21] Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*. 1992; 18(6):643-62. [DOI:10.1037/h0054651]
- [22] Behrens M, Mau-Moeller A, Lischke A, Katlun F, Gube M, Zschorlich V, et al. Mental fatigue increases gait variability during dual-task walking in old adults. *Journals Gerontol Ser A*. 2018; 73(6):792-7. [DOI:10.1093/gerona/glx210] [PMID]
- [23] Belkheili M, Cierson T, Martineau PA. Biomechanical risk factors for increased anterior cruciate ligament loading and injury: A systematic review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2025; 13(2):23259671241312680. [DOI:10.1177/23259671241312681] [PMID]
- [24] McLean SG, Huang X, Van Den Bogert AJ. Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: Implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*. 2005; 20(8):863-70. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2005.05.007] [PMID]

- [25] David S, Komnik I, Peters M, Funken J, Potthast W. Identification and risk estimation of movement strategies during cutting maneuvers. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017; 20(12):1075-80. [DOI:10.1016/j.jsams.2017.05.011] [PMID]
- [26] Kong L, Wu P, Zhang X, Meng L, Kong L, Zhang Q, et al. Effects of mental fatigue on biomechanical characteristics of lower extremities in patients with functional ankle instability during unanticipated side-step cutting. *Frontiers in Physiology*. 2023; 14:448. [DOI:10.3389/fphys.2023.1123201] [PMID]
- [27] Pageaux B, Lepers R. The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Progress in Brain Research*. 2018; 240:291-315. [DOI:10.1016/bs.pbr.2018.10.004] [PMID]
- [28] Veness D, Patterson SD, Jeffries O, Waldron M. The effects of mental fatigue on cricket-relevant performance among elite players. *Journal of Sports Sciences*. 2017; 35(24):2461-7. [DOI:10.1080/02640414.2016.1273540] [PMID]
- [29] Jayalath JLR, de Noronha M, Weerakkody N, Bini R. Effects of fatigue on ankle biomechanics during jumps: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2018; 42:81-91. [DOI:10.1016/j.jelekin.2018.06.012] [PMID]