

Research Paper



## Comparison of the Ground Reaction Force, Center of Mass to Center of Pressure Changes, and Time to Stabilization During a Jump in Young Professional and Semiprofessional Karate Girls

Nazfar Nikjoo<sup>1</sup> , Heydar Sadeghi<sup>2,3\*</sup>

1. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.
2. Department of Sport Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Department of Sport Biomechanics, Kinesiology Research Institution, Kharazmi University, Tehran, Iran.



**Citation** Nikjoo N, Sadeghi H. [Comparison of the Ground Reaction Force, Center of Mass to Center of Pressure Changes and Time to Stabilization During Jump in Young Professional and Semiprofessional Karate Girls (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021; 10(5):964-975. <https://doi.org/10.32598/SJRM.10.5.11>

<https://doi.org/10.32598/SJRM.10.5.11>



Received: 25 Jun 2020

Accepted: 28 Sep 2020

Available Online: 22 Nov 2021

**Keywords:**

Karate, Ground Reaction Force, Center of Mass, Center of Pressure, Time to Stabilization, Landing Jump

### ABSTRACT

**Background and Aims** Since there is a direct relationship between achieving the best athletic performance and minimizing the damage and the potential injuries with people's ability to perform the technique, this study aimed at comparing the selected biomechanical variables during consecutive jump-landings between professional and semi-professional karate athletes.

**Methods** In the current study, using a force plate, the ground reaction force, changes of the center of mass to the center of pressure, and stabilization time during jump-landing of nine young members of the female karate national team (professional) and nine selected karate athletes of Mazandaran province (semi-professional), on their both right and left legs separately, were obtained and statistically analyzed.

**Results** In the information collected from the selected biomechanical variables, the average and standard deviation in the left foot of both groups were higher than in the right foot. There was a significant difference between the ground reaction force and the change of center of mass to the center of pressure (stress) in the internal-external non – professional karate athletes and the left foot of the professional and non-professional. There was a significant difference between the ground reactions force in the posterior-anterior direction between the right and left foot of the professional group and the right and left foot of the non – professional group and the right and left foot of both groups in the change of center of mass to the center of pressure between the right and left foot of these two groups. However, there was no significant difference in the stabilization time.

**Conclusion** According to the results, the variables of the ground reaction force and changes in the center of mass to the center of pressure, and the time needed to achieve stability for karate athletes can be used as an index to evaluate the level of ability to perform and detect the potential injuries occurrence in professional and semi-professional karate athletes.

### Extended Abstract

#### 1. Introduction

**J**ump-Landing is one of the movements that is often the skill of karatekas and consequently, causes lower limb injuries in

athletes in this sport. The study of this skill is important because in training, identifying the factors affecting the incidence of injuries, modifying mistakes that occur in the improvement and optimizing the sports skills performance can be considered by athletes and coaches. Undoubtedly, due to the differences, the reason for people's superiority is determined and causes the selection of the

**\* Corresponding Author:**

Heydar Sadeghi, PhD

Address: Department of Sport Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 2453175

E-Mail: sadeghih@yahoo.com ; sadeghih@khu.ac.ir

right people and prevents investing in the wrong people. Ground reaction force as a resultant of three components of force (vertical, anterior-posterior, and internal-external), distance from the center of mass to the center of pressure (COP-COM) as an indicator in determining the body's capability to control body posture, and time to stabilization (TTS) as an indicator to demonstrate the degree of body stability, are kinetic variables that are considered appropriate for comprehending jump-landing skills. The purpose of this study was to compare selected biomechanical variables during consecutive jump-landings between professional and semi-professional karatekas.

## 2. Methods

The statistical population of the study consisted of young karateka girls from the national team and young karateka girls selected from Mazandaran province (about 20 karatekas). From the statistical population, ten professional athletes who had a history of participating in the national team camp and ten semi-professional athletes, who topped the qualifiers in the same year, volunteered to participate in the study. The executive protocol in this experiment consisted of jump-landing, which was measured separately for each subject. A force platform with a sampling speed of 1000 Hz was used to study and collect data on ground reaction force and equilibrium variables. Ground reaction force data in the anterior-posterior and internal-external directions were determined with a low pass filter of 35 Hz filter and the cut-off frequency was determined using the residual analysis of the 35 Hz filter. Then, in the landing interval to stabilization, the mean was measured. Changes in the center of mass to the center of pressure in the direction of anterior-posterior and internal-external (COP-COM) were also assessed using the inverted pendulum model, and finally, in order to calculate the time to stabilization, at first, the eighth-order Gaussian function was placed on the force diagram, and after two derivations of the function and drawing the diagram of the derived function, the time of zero-crossing of the signal was considered as the time to stabilization. For statistical analysis, SPSS software v. 19 and the Shapiro-Wilk test were used to survey the normality of data distribution. Also, the t-test and paired t-test were used for parametric data and for non-parametric data, the Wilcoxon signed-rank and Mann-Whitney U tests were used at the significant level of  $P \leq 0.05$ .

## 3. Results

The results illustrated that the mean and standard deviation of the studied biomechanical variables in the left limb was higher than in the right limb in both professional

and semi-professional groups. A significant difference was observed in the ground reaction force of the internal-external component and the changes of the center of mass to the center of pressure of the right and left foot of non-professional karatekas and the left foot of the professional and non-professional groups ( $P < 0.05$ ). The ground reaction force in the anterior-posterior direction between the right and left foot of the professional group and the right and left foot of the non-professional group and the right and left foot of the two groups, and in the changes of the center of mass to the center of pressure between the right and left foot of the professional group and the left foot of these two groups were significant ( $P < 0.05$ ). However, there were no significant differences in their time to stabilization ( $P < 0.05$ ). The purpose of this study was to compare selected biomechanical variables during consecutive jump-landing between professional and semi-professional karatekas. The differences between the reaction force in the performance of left and right foot in both professional and semi-professional groups can be related to the fact that this force indicates the adduction and abduction of people's feet, and this is one of the strengths of professional karatekas at the start, and as a result, undoubtedly, they are superior to the semi-professional group. In comparing the changes of the center of mass to the center of pressure, there was a significant difference between the left and right feet of both professional and non-professional groups, and also, in the comparison between professional and semi-professional groups, only the left foot had a significant difference, which may be related to the distribution of body mass of athletes and the pressure they apply when foot-working and starting.

## 4. Discussion

According to the study results, it seems that the variables of ground reaction force and changes in the center of mass to the center of pressure, and time to stabilization can be used as an indicator to assess the skills performance level and identify the potential incidence of injury of professional and semi-professional karatekas.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

The ethical principles observed in the article, such as the informed consent of the participants, the confidentiality of information, the permission of the participants to cancel their participation in the research. Ethical approval was obtained from the Kinesiology Research Center of Kharazmi University (Code: IR.KHU. KRS-1000-111).

### **Funding**

This study was extracted from the MSc thesis of first author at Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Islamic Azad University of Central Tehran Branch.

### **Authors' contributions**

Authors contributed equally in preparing this article.

### **Conflict of interest**

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار و زمان رسیدن به پایداری هنگام پرش فرود در دختران جوان کاراته‌کار حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای

نازفر نیکجو<sup>۱</sup>، \*حیدر صادقی<sup>۲،۳</sup>

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران.
۲. گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه دستیابی به بهترین اجرای مهارت‌های ورزشی و به حداقل رساندن بروز آسیب با میزان قابلیت و توانایی‌های فیزیکی رابطه مستقیم دارد. هدف این پژوهش مقایسه متغیرهای منتخب بیومکانیکی هنگام پرش فرودهای متوالی بین کاراته‌کاران حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای بود.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از صفحه نیروسنج، اطلاعات مربوط به نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار و زمان رسیدن به پایداری هنگام پرش فرود هجده دختر جوان کاراته‌کار اردونشین تیم ملی (حرفه‌ای-نه نفر) و کاراته‌کار منتخب استان مازندران (نیمه‌حرفه‌ای-نه نفر)، در هر دو پای چپ و راست به صورت جداگانه جمع‌آوری و تحلیل آماری شد.

**یافته‌ها:** یافته‌ها نشان داد میانگین و انحراف معیار متغیرهای بیومکانیکی مورد مطالعه در اندام چپ نسبت به اندام راست در هر دو گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای بالاتر بود. در مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین مؤلفه داخلی-خارجی و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار پای راست و چپ کاراته‌کاران غیرحرفه‌ای و پای چپ گروه حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای تفاوت معناداری مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). بین نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی بین پای راست و چپ گروه حرفه‌ای و پای راست و چپ گروه غیرحرفه‌ای و پای راست و چپ دو گروه در تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار بین پای راست و چپ گروه حرفه‌ای و پای راست و چپ این دو گروه تفاوت معنادار بود ( $P < 0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد با توجه به نتایج، متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار و زمان رسیدن به پایداری می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی سطح اجرای مهارت و تشخیص پتانسیل بروز آسیب کاراته‌کاران حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای استفاده شود.

تاریخ دریافت: ۰۵ تیر ۱۳۹۹  
تاریخ پذیرش: ۰۷ مهر ۱۳۹۹  
تاریخ انتشار: ۰۱ آذر ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

کاراته، نیروی واکنش زمینی، مرکز جرم تا مرکز فشار، زمان تثبیت، پرش فرود

مقدمه

در اجرای مرحله مقدماتی آن مرتبط است که در نهایت منجر به اجرای هدفمند تکنیک و کسب امتیاز می‌شود. با این رویکرد، آگاهی از نیروهای مختلف درونی و بیرونی مؤثر در اجرای بهینه مهارت‌ها و کاهش پتانسیل بروز آسیب به عنوان دغدغه‌های اصلی ورزشکاران و مربیان است.

نیروی عکس‌العمل زمین که به عنوان برآیند سه مؤلفه نیرو (عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی)، فاصله تغییرات مرکز

از کاراته به‌عنوان یکی از ورزش‌های مطرح در سطح جهانی یاد می‌شود که دستیابی به مدال‌های آسیایی، جهانی و المپیک در این رشته ورزشی، نیازمند شناسایی افراد مستعد، برنامه‌ریزی اصولی زمان‌بندی‌شده برای تمرین و آنالیز مستمر و دقیق در فرایند مسیر از سطح مبتدی به سطح نخبگی، مراقبت با رویکرد پیشگیری از بروز آسیب‌های ذهنی و جسمی است.

در ورزش کاراته سطح اجرای مهارت به میزان قابلیت ورزشکار

\* نویسنده مسئول:

دکتر حیدر صادقی

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب‌های ورزشی.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۲۴۵۳۱۷۵

رایانامه: sadeghih@yahoo.com., sadeghih@khu.ac.ir

است [۷] و در تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری شد که بین دختران جوان حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای کاراته‌کار در متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار تفاوت معنادار وجود دارد، اما در زمان رسیدن به پایداری آن‌ها تفاوتی وجود ندارد.

شواهد نشان می‌دهد که ۷۰ درصد صدمات لیگامان متقاطع قدامی زانو<sup>۱۱</sup> هنگام فرود از پرش اتفاق می‌افتد. از طرفی، این آسیب بین زنان ورزشکار، چهار تا هشت برابر نسبت به مردان هنگام فعالیت‌های ورزشی مشابه بیشتر است [۸، ۹]. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت فاکتورهای وابسته به جنسیت می‌توانند تأثیر شدیدی در الگوهای آسیب داشته باشند. عدم وجود ثبات دینامیکی مفصل زانو نیز باعث افزایش میزان آسیب‌های زانو در زنان است [۱۰].

تفاوت‌های میان پای برتر و غیربرتر، عوامل محیطی، بی‌ثباتی لیگامنتی، تغییرات هورمونی، شاخص عرض شکاف بین‌کندیلی<sup>۱۲</sup>، شکل شکاف بین‌کندیلی و اندازه لیگامان متقاطع قدامی زانو را می‌توان از عوامل تأثیرگذار در صدمات و آسیب‌های زانو در زنان شمرده، اما آنچه می‌توان با بررسی مطالعات انجام‌شده مشاهده کرد، این است که مهارت پرش-فرود (استارت) که مقدمه‌ای در اجرای ضربه اثرگذار است، مورد توجه قرار نگرفته است.

بررسی این مهارت از آن جهت اهمیت دارد که در آموزش، شناسایی عوامل مؤثر در بروز آسیب‌ها، اصلاح خطاهایی که در ارتقا و بهینه کردن اجرای مهارت‌های ورزشی می‌توانند مورد توجه ورزشکاران و مربیان قرار گیرند. بی‌تردید، با توجه به تفاوت‌های موجود در داده‌های به‌دست‌آمده از مقایسه برخی متغیرهای بیومکانیکی، علت برتری افراد مشخص و باعث انتخاب افراد مناسب شده و از سرمایه‌گذاری روی افراد نادرست جلوگیری می‌شود.

با مروری بر مطالعات انجام‌شده، تحقیقی یافت نشد که تأثیر متغیرهای بیومکانیکی وابسته به تعادل در اجرای مهارت‌های کاراته دختران جوان حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای را مورد مطالعه قرار داده باشد. در مطالعه حاضر با فرض تأثیرگذاری متغیرهای بیومکانیکی وابسته به تعادل که می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی عملکرد کاراته‌کاران در بهینه اجرای مهارت کاراته و کاهش پتانسیل بروز آسیب در نظر گرفته شوند، هدف از انجام تحقیق بررسی مقایسه‌ای نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به فشار و زمان رسیدن به پایداری هنگام پرش-فرود در دختران جوان حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای کاراته‌کار بود.

جرم به مرکز فشار<sup>۱</sup> هستند، به عنوان شاخصی در تعیین توانایی بدن در کنترل پاسچر بدن و زمان رسیدن به پایداری<sup>۲</sup> که با آن توانایی بدن در به حداقل رساندن پاسچر هنگام انتقال از یک وضعیت پویا به یک وضعیت ایستا بررسی می‌شوند [۱]. این فاصله‌ها که شاخصی برای نشان دادن میزان پایداری بدن هستند، متغیرهای کینتیکی مناسبی برای درک مهارت پرش-فرود<sup>۳</sup> محسوب می‌شوند.

از این رو، در بخشی از مطالعات گذشته بررسی متغیرهای مذکور مورد توجه محققان قرار گرفته است. به عنوان مثال، یحیایی راد در تحلیل بیومکانیکی تکلیف پرش ۳۳ زن ورزشکار که تعدادی از آن‌ها دچار زانوی پرانتری<sup>۴</sup> و ضربدری<sup>۵</sup> بوده‌اند، مدعی شدند که شاخص پایداری پویا تنها در پرش داخلی خارجی در گروه زانو پرانتری نسبت به گروه زانو ضربدری، به‌طور معناداری بیشتر است [۲].

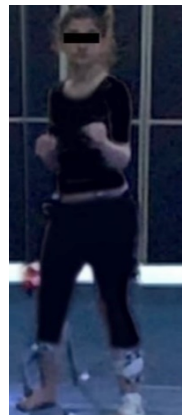
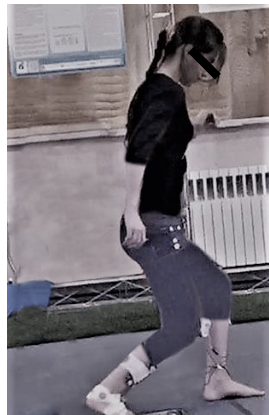
مطالعه دیگری در مقایسه توزیع فشار کف پای و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در اندام برتر و غیربرتر افراد سالم دریافتند که تفاوت معناداری در الگوی توزیع فشار مردان و زنان و همچنین پای برتر و غیربرتر وجود نداشت [۳]. در حالی که در مطالعه‌ای با عنوان تفاوت در فشار کف پای بین پای برتر و غیربرتر در چهار حرکت دویدن، برش جانبی<sup>۶</sup>، فرود<sup>۷</sup> و پرش عمودی<sup>۸</sup> نتیجه گرفتند که فشار کف پای کلی، در پای برتر بیشتر از پای غیربرتر است [۴].

همچنین در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر دفورمیتی زانوی پرانتری بر کنترل تعادل بدن متعاقب اعمال شتاب ناگهانی پاسچرال در دختران نوجوان که دچار زانوی پرانتری بودند، نتیجه گرفتند که جابه‌جایی مرکز فشار پاها پس از اعمال شتاب ناگهانی در گروه مطالعه (افراد با دفورمیتی زانو پرانتری) به‌طور معناداری از گروه کنترل (افراد سالم) بیشتر است [۵]. بلک بورن در تحقیقی که به تفاوت‌های کینتیکی و کینماتیکی حاصل از فرود در دو وضعیت فرود نرمال و فرود با فلکشن بالاتنه<sup>۹</sup> در زنان و مردان پرداختند، مدعی شدند که فلکشن بالاتنه باعث کاهش مؤلفه‌های عمودی و قدامی-خلفی نیروی عکس‌العمل زمین و فعالیت کوادریسپس<sup>۱۰</sup> می‌شود [۶].

همچنین در تحقیقی دیگر، چو و کیم به این نتیجه رسیدند که ارتفاع فرود نسبت به فاصله فرود، با آسیب بیشتر در ارتباط

1. Center Of Pressure- Center Of Mass
2. Time To Stabilization (ttS)
3. Jump-Landing
4. Genu Varum
5. Genu Valgum
6. Sideward Cutting
7. Landing
8. Vertical jump
9. Upper body Flexion
10. Quadriceps

11. Anterior Cruciate Ligament
12. Femoral Intercondylar Notch Width Index



تصویر ۱. مهارت پرش-فرود مکرر روی صفحه نیروسنج

طب توانبخشی

مواد و روش‌ها

نمونه برداری 1000Hz استفاده شد. داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی-خلفی<sup>۱۴</sup> و داخلی-خارجی با فیلتر پایین‌گذر ۳۵ هرتز فیلتر و فرکانس برش با استفاده از آنالیز باقی‌مانده ۳۵ هرتز فیلتر تعیین شد. سپس در بازه فرود تا پایداری میانگین اندازه‌گیری شد.

تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی<sup>۱۵</sup> و داخلی-خارجی مرکز جرم به مرکز فشار نیز با استفاده از مدل پاندول معکوس [۱۱] و در نهایت به منظور محاسبه زمان رسیدن به پایداری، ابتدا تابع گاوسین<sup>۱۶</sup> مرتبه هشت روی نمودار نیرو قرار داده شد و پس از دو بار مشتق‌گیری از تابع و رسم نمودار تابع مشتق‌گیری شده و زمان صفر شدن سیگنال به عنوان زمان رسیدن به پایداری مد نظر قرار گرفت.

برای تحلیل آماری از نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS و آزمون شاپیرو ویلک<sup>۱۷</sup> برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. از آزمون‌های تی مستقل (مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی-خلفی پای راست گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای و پای چپ گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی پای چپ گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای) و تی زوجی (مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی-خلفی پای راست و چپ گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی پای راست و چپ گروه حرفه‌ای) در داده‌های پارامتریک و ناپارامتریک از آزمون‌های ویلکاکسون (مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در راستای داخلی-خارجی<sup>۱۸</sup> پای راست و چپ گروه حرفه‌ای و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای داخلی-خارجی<sup>۱۹</sup> پای راست و چپ گروه نیمه‌حرفه‌ای) و

جامعه آماری تحقیق را دختران جوان کاراته‌کار اردونشین تیم ملی و دختران جوان کاراته‌کار منتخب استان مازندران تشکیل دادند (حدود بیست نفر). از درون جامعه آماری، ده ورزشکار حرفه‌ای که سابقه حضور در اردوی تیم ملی و ده ورزشکار نیمه‌حرفه‌ای که به عنوان نفر نخست وزن خود در مسابقات انتخابی در همان سال را داشتند، برای شرکت در این تحقیق به صورت داوطلبانه شرکت کردند.

قبل از انجام هرگونه اندازه‌گیری، آزمودنی‌ها برای شرکت در این مطالعه فرم رضایت‌نامه را پر کردند. سپس اطلاعات شخصی شرکت‌کننده‌ها از قبیل سن، سابقه ورزشی، تعداد جلسات ورزشی در هفته جمع‌آوری شد. قبل از شروع آزمون، آموزش‌های لازم برای آشنایی آزمودنی‌ها با نحوه اجرای آزمون داده شد. پروتکل اجرایی مورد استفاده در این تحقیق توسط کمیته اخلاق پژوهشکده علوم حرکتی دانشگاه خوارزمی با کد 111-1000-KRS تصویب شد.

پروتکل اجرایی در این آزمایش از پرش-فرود تشکیل شده بود (تصویر شماره ۱) که در این تحقیق برای هر شخص به صورت مجزا و برای هر پای آزمودنی اندازه‌گیری شد. در اولین نوع از این پروتکل افراد در سمت راست صفحه نیروسنج کیستلر<sup>۱۳</sup> به صورت گارد ایستادند، طوری که پای چپ آنها خارج از صفحه و پای راست آنها روی صفحه قرار گرفته بود. پرش-فرود که همان استارت یا شروع‌کننده اجرای هر تکنیکی است را انجام دادند و پس از انجام آن همین حرکت از سمت چپ به همین گونه اجرا شد. با این تفاوت که پای جلو که همان پای چپ افراد بود، روی صفحه نیروسنج و پای راست خارج از صفحه قرار گرفت. این حرکت از هر سمت سه بار و در کل شش بار تکرار شد.

برای بررسی و جمع‌آوری داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین و متغیرهای وابسته به تعادل از صفحه نیروسنج با سرعت

13. Switzerland Winterthur Kistler

14. GRFx  
15. COP-COMx  
16. Gaussian Function  
17. Shapiro Wilk Test  
18. GRFy  
19. COP-COMy

جدول ۱. مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها (هر گروه نه نفر)

گروه	سن	قد	وزن	میانگین $\pm$ انحراف معیار
حرفه‌ای	۱۸/۶۶ $\pm$ ۱/۸۰	۱۶۲/۴۴ $\pm$ ۷/۱۶	۵۵ $\pm$ ۲/۸۹	
نیمه‌حرفه‌ای	۱۸/۲۲ $\pm$ ۱/۸۵	۱۶۱ $\pm$ ۵/۸۵	۵۴ $\pm$ ۱۰/۲۶	

### طب توانبخشی

آزمون من ویتنی و در مقایسه‌هایی که این متغیرها مشارکت نداشتند، از آزمون‌های پارامتریک تی مستقل و تی زوجی استفاده شد.

میانگین و انحراف معیار داده‌ها در تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی، نیروی عکس‌العمل زمین در دو راستای قدامی-خلفی، داخلی-خارجی و عمودی و زمان رسیدن به پایداری مربوط به هر دو پای راست و چپ در هر دو گروه کاراته‌کارهای حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای در **جدول شماره ۲** ارائه شده است.

نتایج آزمون تی زوجی بیانگر معنادار بودن تفاوت در میانگین نیروی عکس‌العمل در راستای قدامی-خلفی بین پای راست و چپ گروه حرفه‌ای ( $P=0/000$ ) و پای راست و چپ گروه نیمه‌حرفه‌ای ( $P=0/01$ ) است.

همچنین نتایج همین آزمون در خصوص مقایسه تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی بین پای راست و چپ گروه حرفه‌ای در بازه زمانی فرود تا پایداری تفاوت معناداری را نشان داد ( $P=0/000$ ). ضمن اینکه نتایج آزمون ویلکاکسون در خصوص مقایسه میانگین نیروی عکس‌العمل ( $P=0/000$ ) و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار ( $P=0/000$ ) در راستای داخلی-خارجی بین پای راست و چپ گروه نیمه‌حرفه‌ای در بازه زمانی فرود تا پایداری تفاوت معناداری نشان داد.

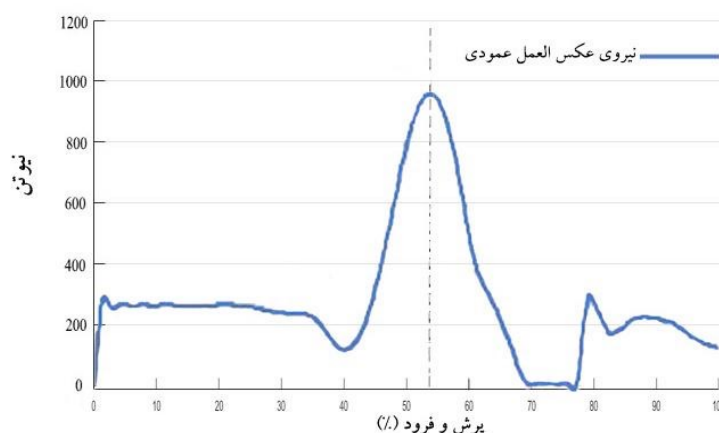
من ویتنی (مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در راستای داخلی-خارجی پای چپ گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای داخلی-خارجی پای چپ گروه حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای) در سطح معناداری  $P \leq 0/05$  استفاده شد.

### یافته‌ها

مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در هر دو گروه کاراته‌کارهای حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای در **جدول شماره ۱** ارائه شده است. نمودار نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در مهارت پرش-فرود در **تصویر شماره ۲** ارائه شده است.

با توجه به اینکه، نتایج آزمون شاپیرو ویلک در خصوص بررسی نرمال بودن توزیع اطلاعات حاکی از این مطلب بود که متغیرهای تغییر مرکز جرم به فشار در راستای داخلی-خارجی در پای راست حرفه‌ای‌ها و پای چپ غیرحرفه‌ای‌ها در دو راستای داخلی-خارجی و قدامی-خلفی، زمان رسیدن به پایداری پای راست حرفه‌ای‌ها و پای چپ غیرحرفه‌ای‌ها، نیروی عکس‌العمل داخلی-خارجی پای راست حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای و پای راست و چپ غیرحرفه‌ای‌ها در راستای قدامی-خلفی از توزیع نرمالی برخوردار نبودند.

از این رو، در هر مقایسه‌ای که این متغیرها مشارکت داشتند، به منظور مقایسه درون‌گروهی به جای تی زوجی از آزمون ویلکاکسون و برای مقایسه بین‌گروهی به جای تی مستقل از



تصویر ۲. نمودار نیروی عکس‌العمل عمودی زمین نرمالایز شده در مهارت پرش-فرود

### طب توانبخشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی، نیروی عکس‌العمل زمین در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی و زمان رسیدن به پایداری مربوط به هر دو پای راست و چپ در کاراته‌کارهای حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای

میانگین ± انحراف معیار		پا	متغیر
نیمه حرفه‌ای	حرفه‌ای		
۸۰۷/۶ ± ۳۹/۳۰	۸۷۳/۱۰ ± ۳۳۱/۳۱	راست	تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی (میلی‌متر)
†۵۵/۴۰ ± ۰۳۹/۵	†۰۷۶۲/۹ ± ۷۷/۴۳	چپ	
۰۵۴/۱۰ ± ۰۷/۹۸	۶۸/۸۹ ± ۲۷/۸	راست	تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای داخلی-خارجی (میلی‌متر)
†۰۸۷/۸ ± ۲۳/۶۸	†۴۵۲/۶ ± ۰۲/۶۱	چپ	
‡۰۴۳۸/۰ ± ۰۶۰/۰	‡۰۴۳۸/۰ ± ۰۷/۰	راست	نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی-خلفی (N)
†۰۰۵۵/۰ ± ۰۵۴/۰	†۰۰۳۳۱/۰ ± ۰۶۶/۰	چپ	
۰۰۹۷/۰ ± ۰۲۸/۰	۰۰۹۷/۰ ± ۰۵/۰	راست	نیروی عکس‌العمل زمین در راستای داخلی-خارجی (N)
†۰۰۵۰/۰ ± ۰۳۰/۰	†۰۰۲۶/۰ ± ۰۲/۰	چپ	
۹۳۱/۰ ± ۰۴۵/۰	۹۳۱/۰ ± ۰۶۲/۰	راست	نیروی عکس‌العمل زمین در راستای عمودی (N)
۳۰۶/۰ ± ۰۲۵/۰	۰۳۴/۰ ± ۰۲۲/۰	چپ	
۲۳۹/۰ ± ۰۶۴/۰	۲۰۷/۰ ± ۰۴۳/۰	راست	زمان رسیدن به پایداری (ثانیه)
۲۳۳/۰ ± ۰۷۳/۰	۲۳۹/۰ ± ۰۹۷/۰	چپ	

طب توانبخشی

\* تفاوت معناداری درون گروهی

‡ تفاوت معناداری بین گروهی در اندام متناظر (اندام راست حرفه‌ای با اندام راست غیرحرفه‌ای)

† تفاوت معناداری بین گروهی در اندام متناظر (اندام چپ حرفه‌ای با اندام چپ غیرحرفه‌ای)

همچنین مقادیر به دست آمده در رابطه با مقایسه نتایج تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار نشان داد که این متغیر در راستای قدامی-خلفی در اندام تحتانی طرف راست و چپ گروه حرفه‌ای حدوداً به ترتیب ۹ و ۸ درصد از اندام طرف راست گروه نیمه حرفه‌ای بیشتر بود. در خصوص مقادیر مربوط به تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای داخلی-خارجی در اندام‌های تحتانی طرف راست گروه حرفه‌ای ۹ درصد از اندام طرف راست گروه نیمه حرفه‌ای کمتر بود و در طرف چپ گروه حرفه‌ای حدود ۸ درصد از اندام متناظرشان در گروه نیمه حرفه‌ای‌ها کمتر بود.

بحث

هدف از انجام این تحقیق، مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار و زمان رسیدن به پایداری هنگام پرش-فرود در دختران جوان حرفه‌ای و نیمه حرفه‌ای کاراته‌کاران بود. در این مطالعه تلاش شد تا مشخص شود کاراته‌کاران نیمه حرفه‌ای در متغیرهای مورد مطالعه چه میزان از کاراته‌کاران حرفه‌ای فاصله دارند.

به طور کلی با توجه به اینکه در مقایسه نیروی عکس‌العمل تفاوت معنادار در عملکرد پای چپ و راست در هر دو گروه حرفه‌ای و نیمه حرفه‌ای بودند، می‌توان دلیل احتمالی آن را به

نتایج آزمون تی مستقل در مقایسه میانگین نیروی عکس‌العمل در راستای قدامی-خلفی در هر دو پای راست ( $P=0/003$ ) و چپ گروه حرفه‌ای ( $P=0/001$ ) و غیر حرفه‌ای و نتایج همین آزمون در مقایسه با تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی پای چپ گروه حرفه‌ای و غیر حرفه‌ای در بازه زمانی فرود تا پایداری حاکی از وجود تفاوت معنادار بین آنها بود ( $P=0/000$ ).

علاوه بر این، نتایج آزمون من ویتنی در خصوص مقایسه میانگین نیروی عکس‌العمل ( $P=0/003$ ) و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار ( $P=0/000$ ) در راستای داخلی-خارجی پای چپ گروه حرفه‌ای و غیر حرفه‌ای در بازه زمانی فرود تا پایداری تفاوت معناداری را نشان داد.

به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد مقادیر مربوط به نیروی عکس‌العمل در راستای قدامی-خلفی در اندام تحتانی طرف راست گروه حرفه‌ای ۱۰ درصد از اندام طرف راست گروه نیمه حرفه‌ای بیشتر بود، در حالی که اندام تحتانی طرف چپ حرفه‌ای‌ها ۷ درصد از اندام طرف چپ نیمه حرفه‌ای کمتر بود. در خصوص مقادیر مربوط به نیروی عکس‌العمل در راستای داخلی-خارجی در اندام‌های تحتانی طرف راست با هم برابر بوده و در طرف چپ گروه حرفه‌ای‌ها حدود ۶ درصد از اندام متناظرشان در گروه نیمه حرفه‌ای‌ها کمتر بود.



پرش-فرود باشد. این تفاوت در استفاده از قسمت‌های مختلف پا، به طور طبیعی در توزیع فشار و نقطه مرکز جرم اثر می‌گذارد.

در مقایسه زمان رسیدن به پایداری در پرش-فرود دختران جوان کاراته‌کار حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای تفاوت وجود نداشت. این یافته با نتایج بیاتی روی کشتی‌گیران نخبه‌ای که جراحی لیگامان متقاطع قدامی زانو انجام داده‌اند، ناهمسو است [۱۵]. علت احتمالی ناهمسویی نتایج را می‌توان ناشی از وجود آسیب لیگامان متقاطع قدامی زانو در اندام تحتانی آزمودنی‌ها در تحقیق بیاتی دانست.

به نظر می‌رسد عدم وجود تفاوت معنادار به این خاطر باشد که هر دو گروه از لحاظ آمادگی بدنی و احتمالاً استفاده از نوع تمرینات مشابه بوده باشد، از این رو پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات بعدی پژوهشگر به اختلاف زمان رسیدن به پایداری بین دو گروه حرفه‌ای و مبتدی و با در نظر گرفتن نوع تمرین آماده‌سازی آن‌ها بپردازد تا شاید تفاوت معناداری وجود داشته باشد و بررسی شود.

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده اگرچه بین زمان رسیدن به پایداری میان دو گروه تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی تفاوت معناداری دیده می‌شود. این موضوع می‌تواند به این معنا قابل تحلیل باشد که ورزشکاران هنگام فرود برای رسیدن به تعادل، نوسانات پاسچر را تجربه می‌کنند که همین باعث آسیب‌های زانو، به‌خصوص لیگامان متقاطع قدامی زانو می‌شود.

مطالعات پیشین نشان می‌دهند هنگامی که ورزشکاران مانورهای ورزشی مثل فرود از پرش و حرکات برشی را اجرا می‌کنند برای حفظ ثبات عملکردی مفصل باید بین نیروهای استاتیک از قبیل نیروهای غیرانقباضی تولیدشده توسط لیگامان‌ها، بافت‌های هم‌بند، استخوان‌ها و نیروهای دینامیک عضلات انقباضی عمل‌کننده بر زانو تعامل وجود داشته باشد [۱۰]. زمانی که نیروهای دینامیک محدودکننده حرکت مفصل کافی نباشند، نیروهای استاتیک در معرض بارهای بزرگ‌تری قرار می‌گیرند و باعث آسیب لیگامان متقاطع قدامی زانو می‌شوند [۱۶].

در تحقیق حاضر، سه متغیر بیومکانیکی نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار و زمان رسیدن به پایداری دختران کاراته‌کار مقایسه شد. مطمئناً مقایسه این یافته‌ها در گروه دختران با اطلاعاتی از گروه پسران با شرایط همسان می‌توانست درک بهتری در خصوص اثر جنسیت در اجرای مهارت پرش-فرود ارائه کند.

ضمن اینکه می‌توان پیشنهاد کرد در تحقیقات آینده نقش

استفاده ورزشکاران از پای برتر خود در مبارزات و همچنین آمادگی بیشتر آن‌ها برای ضربه زدن در سرعت بالا و تهیه برنامه دقیق‌تر از آن در مبارزات برای زدن ضربه مرتبط دانست.

همچنین در مقایسه عملکرد پاهای دو گروه، می‌توان مدعی شد که گروه حرفه‌ای با انجام تمرینات مؤثرتر و قوی‌تر نتیجه بهتری کسب کرده‌اند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش شیروانی‌پور و همکاران روی مردان کاراته‌کار نخبه در راستای قدامی-خلفی ناهمسو و با نتایج مطالعه در راستای داخلی-خارجی همسو بود [۱۲].

علت احتمالی همخوانی را می‌توان به این موضوع مرتبط دانست که این نیرو نشان‌دهنده اداکشن و ابداکشن پای افراد است و این در استارت، یکی از نقاط قوت کاراته‌کاران حرفه‌ای است و در نتیجه بدون شک نسبت به گروه نیمه‌حرفه‌ای برتر هستند. علت احتمالی ناهمخوانی را می‌توان به وجود زانوی پرانتری در گروهی از ورزشکاران در تحقیق شیروانی‌پور مربوط دانست.

به نظر می‌رسد با انجام تمرینات تعادلی و چابکی می‌توان اثر مثبتی بر نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی-خلفی گذاشت، ضمن اینکه با تقویت عضلات اداکتور و اداکتور در دختران نیمه‌حرفه‌ای می‌توان باعث بهبود عملکرد و کاهش پتانسیل بروز آسیب شد.

همچنین در مقایسه تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار تفاوت معنادار بین پای چپ و راست هر دو گروه حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای مشاهده می‌شود. در مقایسه بین گروه حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای، تنها پای چپ تفاوت معنادار داشت که علت احتمالی آن را می‌توان توزیع جرم بدن ورزشکاران و فشاری که هنگام رقص پا و استارت دارند، مرتبط دانست.

این نتایج در راستای قدامی-خلفی با نتایج مطالعات برخی همسو [۱۳، ۱۵] و با نتایج مطالعه سمعی و همکاران ناهمسو [۱۴] و در راستای داخلی-خارجی با نتایج مطالعه شیروانی‌پور و همکاران همسو است [۱۲]. علت احتمالی همخوانی می‌تواند وجود آسیب زانو در بیشتر کاراته‌کاران باشد، زیرا بعضی از کاراته‌کاران در رقص پا، به علت سابقه کاری بالا و انجام تمرینات نادرست، به ناهنجاری زانو دچار می‌شوند.

این موضوع می‌تواند به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار باشد. دیگر علت احتمالی ناهمخوانی را می‌توان به تفاوت جنسیت آزمودنی‌ها مرتبط دانست. به نظر می‌رسد از آنجا که در این متغیر تفاوت معنادار مشاهده می‌شود، احتمال دارد که نسبت جابه‌جایی مرکز جرم و ثبات قامتی در بازیکنان حرفه‌ای در مقایسه با بازیکنان نیمه‌حرفه‌ای، به علت اینکه استفاده متفاوت کاراته‌کاران از قسمت‌های مختلف پا برای

افزایش مدت زمان و فشار دوره تمرینی در ارتقای عملکرد بیومکانیکی دختران کاراته‌کار نیمه‌حرفه‌ای، تأثیر یک وهله خستگی بر نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز جرم به فشار و زمان رسیدن به پایداری هنگام پرش-فرود دختران حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای کاراته‌کار بررسی شود.

## نتیجه‌گیری

از یافته‌های این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف بین نیروی عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز جرم به مرکز فشار در اجرای مهارت سریع پرش-فرودهای متوالی هنگام مبارزه احتمال دارد یکی از علت‌های برتری کاراته‌کارهای حرفه‌ای نسبت به نیمه‌حرفه‌ای است.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق پژوهشکده علوم حرکتی دانشگاه خوارزمی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره KRS-1000-111 دریافت شده است.

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه نازفر نیکجو با راهنمایی حیدر صادقی در گروه بیومکانیک ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز است.

### مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کاراته‌کاران حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای که به صورت داوطلبانه به‌عنوان آزمودنی در این پژوهش شرکت کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

## References

- [1] Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical basis of human movement. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. [https://www.google.com/books/edition/Biomechanical\\_Basis\\_of\\_Human\\_Movement/WuWKRc2jZ5AC?hl=en&gbpv=0](https://www.google.com/books/edition/Biomechanical_Basis_of_Human_Movement/WuWKRc2jZ5AC?hl=en&gbpv=0)
- [2] Yahyaei-Rad M. Inter-examiner reliability of the manual muscle strength testing. Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2012; 2(12):13134-8. [https://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20Res.,%20\(12\)13134-13138,%202012.pdf](https://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20Res.,%20(12)13134-13138,%202012.pdf)
- [3] Farjad Pezeshk A, Sadeghi H. [The trajectory of center of pressure during stance phase of gait in healthy males and females using pedar-X system (Persian)]. Research in Sport Medicine & Technology. 2016; 14(11):1-13. [DOI:10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]
- [4] Wong PL, Chamari K, Mao DW, Wisløff U, Hong Y. Higher plantar pressure on the medial side in four soccer-related movements. British Journal of Sports Medicine. 2007; 41(2):93-100. [DOI:10.1136/bjism.2006.030668] [PMID] [PMCID]
- [5] Panah-Abadi M, Aghayari A, Salari Esker F, Anbarian M. [The effect of genu varum deformity on balance control following postural perturbation in adolescent girls (Persian)]. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 2013; 18(2):67-76. <http://sjku.muk.ac.ir/article-1-1068-en.html>
- [6] Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. Journal of Athletic Training. 2009; 44(2):174-9. [DOI:10.4085/1062-6050-44.2.174] [PMID] [PMCID]
- [7] Cho JH, Kim RB. [The effects of landing height and distance on knee injury mechanism (Korean)]. Korean Journal of Sport Biomechanics. 2011; 21(2):197-205. [DOI:10.5103/KJSB.2011.21.2.197]
- [8] Boden BP, Dean GS, Feagin JA Jr, Garrett WE Jr. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthopedics. 2000; 23(6):573-8. [DOI:10.3928/0147-7447-20000601-15] [PMID]
- [9] Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Risk factors and prevention strategies. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2000; 8(3):141-50. [DOI:10.5435/00124635-200005000-00001] [PMID]
- [10] Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. Medicine & Science in Sports and Exercise. 2003; 35(10):1745-50. [DOI:10.1249/01.MSS.0000089346.85744.D9] [PMID]
- [11] Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. New York: John Wiley & Sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]
- [12] Shirvaniour S, Sadeghi H, Mimar R. [Comparison between changes in the center of pressure among the elite male karatekas with or without genu varum during forward and backward walking tasks (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2016; 5(1):41- 9. [http://medrehab.sbmu.ac.ir/article\\_1100258.html?lang=en](http://medrehab.sbmu.ac.ir/article_1100258.html?lang=en)
- [13] Fattahi A, Sadeghi H. Resistance, plyometrics and combined training in children and adolescents' volleyball players: A review Study. Journal of Scientific Research and Reports. 2014; 3(20):2584-610. <https://www.journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/20842>
- [14] Afzalpour ME, Kaviani Najafabadi R, Ehsanbakhsh AR. [The comparison of the bone mineral density and content between dominant & non dominant limb in elite males Karate practitioners of southern Khorasan (Persian)]. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2013; 1(1):44-57. [DOI:10.22077/JPSBS.2013.45]
- [15] Ehsan B, Heydar S. Comparison of ground reaction force, center of pressure and body center of mass changes in anterior, posterior and cutting movement in young and adult champion wrestlers with approach on risk factors of ACL injuries [Master Thesis]. Tehran: Azad University, Central Tehran Branch; 1397.
- [16] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. The American Journal of Sports Medicine. 2005; 33(4):492-501. [DOI:10.1177/0363546504269591] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank