



Lorestan University



The Effectiveness of Eight Weeks of Integrated Neuromuscular Training on Aerobic Capacity, Dynamic Balance, and Landing Errors in Male Soccer Players Aged 18 to 20 Years in Babol City

Mohammed Abdulhamza Ismael Mohsin¹ , Lotfali Bolboli² , and Reza Farzizadeh³ 

1. PhD Student in Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: Mh989822@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: lbolboli@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: r_farzizadeh@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 25 September 2025
Received in revised form 25 November 2025
Accepted 04 January 2026
Available online 13 January 2026

Keywords:
Integrated Neuromuscular Training;
Aerobic Capacity;
Dynamic Balance;
Landing Errors;
Football Players

ABSTRACT

Objective: The present study aimed to determine the effectiveness of eight weeks of integrated neuromuscular training on aerobic capacity, dynamic balance, and landing errors in 18–20-year-old male football players in Babol, Iraq.

Method: This study was conducted as a randomized controlled trial with a pretest–posttest design. Thirty football players were randomly assigned to an experimental group and a control group (15 participants in each group). The experimental group performed integrated neuromuscular training three sessions per week for eight weeks, while the control group continued their regular football training. Aerobic capacity was assessed using the 12-minute Cooper test, dynamic balance using the Y-Balance test, and landing quality using the Landing Error Scoring System (LESS). Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA).

Results: Following the intervention, the estimated maximal oxygen uptake in the experimental group was significantly higher than that of the control group, with an adjusted mean difference of 4.78 ml·kg⁻¹·min⁻¹ ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.766$). A significant reduction in resting heart rate was also observed. Dynamic balance improved with an adjusted mean difference of 35.9 cm ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.656$). Additionally, the landing error score decreased by 1.55 points, indicating fewer movement errors and improved landing quality ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.492$).

Conclusions: Integrated neuromuscular training can improve aerobic capacity, dynamic balance, and landing quality in young male football players. Incorporating this program into the team's regular warm-up routine may serve as a practical strategy for enhancing players' physical fitness and motor control.

Cite this article: Abdulhamza Ismael Mohsin, M., Bolboli, L., & Farzizadeh, R. (2026). The Effectiveness of Eight Weeks of Integrated Neuromuscular Training on Aerobic Capacity, Dynamic Balance, and Landing Errors in Male Soccer Players Aged 18 to 20 Years in Babol City. *New Research in Islamic Humanities Studies*, 4 (Special Issue), 1-23. <https://doi.org/10.22034/api.2026.2092153.1821>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.

DOI: <https://doi.org/10.22034/api.2026.2092153.1821>

Introduction

Football is an intermittent, high-intensity team sport in which periods of low and moderate-intensity activity are frequently interspersed with rapid running, accelerations, decelerations, and changes of direction. In recent years, the intensity and frequency of these high-speed actions have increased considerably. Therefore, in addition to aerobic endurance, players must possess the ability to repeatedly perform high-intensity movements and maintain the quality of skill execution under fatigue. Alongside these performance demands, lower extremity injuries particularly those affecting the knee and ankle remain a major concern in football, with many injuries occurring during landing, deceleration, and change-of-direction movements.

Appropriate neuromuscular control plays a crucial role in force absorption, maintaining balance, and reducing the risk of injury. Integrated neuromuscular training, which combines strength, balance, core stability, plyometric, and agility exercises, has been shown to simultaneously enhance physical performance and contribute to injury prevention. However, limited evidence exists regarding the simultaneous effects of such training on aerobic capacity and motor control indicators in young football players. Therefore, the present study aimed to examine the effects of eight weeks of integrated neuromuscular training on aerobic capacity, resting heart rate, balance, and landing quality in 18–20-year-old male football players.

Method

This study was conducted as a randomized controlled trial with a pretest–posttest design. Thirty football players were randomly assigned to an experimental group and a control group (15 participants in each group). The experimental group performed integrated neuromuscular training three sessions per week for eight weeks, while the control group continued their regular football training. Aerobic capacity was assessed using the 12-minute Cooper test, dynamic balance using the Y-Balance test, and landing quality using the Landing Error Scoring System (LESS). Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA).

Results

Following the intervention, the estimated maximal oxygen uptake in the experimental group was significantly higher than that of the control group, with an adjusted mean difference of $4.78 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.766$). A significant reduction in resting heart rate was also observed. Dynamic balance improved with an adjusted mean difference of 35.9 cm ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.656$). Additionally, the landing error score decreased by 1.55 points, indicating fewer movement errors and improved landing quality ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.492$).

Conclusions

The findings of the present study indicated that eight weeks of integrated neuromuscular training led to improvements in aerobic capacity, reductions in resting heart rate, enhanced dynamic balance, and fewer landing errors in 18–20-year-old male football players. The training

program, which incorporated strength, balance, plyometric, landing control, and change of direction exercises, was able to simultaneously improve players' physiological fitness and motor control. The results also suggested that improvements in dynamic balance may partly explain the observed enhancement in landing quality. From a practical perspective, implementing this progressive, multi component program as part of the warm-up three times per week may provide a practical and cost-effective strategy for coaches, enabling them to improve both physical performance and movement quality without adding separate training sessions.

However, the results should be interpreted with caution due to several limitations, including the indirect estimation of VO_2max using the Cooper test, the relatively small sample size, and the two-dimensional assessment of landing mechanics. Future studies are recommended to include larger samples and more precise measurement methods.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the anonymous reviewers for their insightful comments and constructive feedback, which significantly improved the quality of this manuscript. We also extend our gratitude to our colleagues for their valuable discussions and technical support throughout this research.

Ethical Considerations

The authors strictly adhered to the highest standards of research integrity. The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and any other form of scientific misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



اثر بخشی هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی - عضلانی بر ظرفیت هوازی، تعادل پویا و

خطاهای فرود در بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال شهر بابل

محمد عبدالحمزه اسماعیل محسن^۱، لطفعلی بلبلی^۲، رضا فرضی زاده^۳

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: Mhmmh989822@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: lbolboli@gmail.com
۳. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: r_farzizadeh@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی،	هدف: هدف پژوهش حاضر تعیین اثر بخشی هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی بر ظرفیت هوازی، تعادل پویا و خطاهای فرود در بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال شهر بابل عراق بود.
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳	روش پژوهش: تصادفی کنترل صورت کار آزمایی تصادفی کنترل شده با طرح پیش آزمون، پس آزمون انجام شد و ۳۰ بازیکن فوتبال به طور تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل (هر گروه ۱۵ نفر) قرار گرفتند. گروه آزمایش به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته، تمرینات یکپارچه عصبی-عضلانی را اجرا کرد، در حالی که گروه کنترل تمرینات معمول فوتبال را ادامه داد. ظرفیت هوازی با آزمون ۱۲ دقیقه‌ای کوپر، تعادل پویا با آزمون Y و کیفیت فرود با سامانه امتیازدهی خطای فرود اندازه گیری و داده‌ها با تحلیل کوواریانس بررسی شد.
کلیدواژه‌ها: تمرینات یکپارچه عصبی-عضلانی؛ ظرفیت هوازی؛ تعادل پویا؛ خطای فرود؛ بازیکنان فوتبال	یافته‌ها: پس از مداخله، حداکثر اکسیژن مصرفی برآورد شده در گروه آزمایش به طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود و تفاوت میانگین تعدیل شده ۴/۷۸ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم در دقیقه به دست آمد ($p < 0.001$) ($\eta p^2 = 0.766$). همچنین کاهش ضربان قلب استراحت معنادار بود. تعادل پویا با تفاوت میانگین تعدیل شده ۳۵/۹ سانتی‌متر بهبود یافت ($p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.565$). علاوه بر این، امتیاز خطای فرود ۱/۵۵ امتیاز کاهش یافت که نشان دهنده کاهش خطاهای حرکتی و بهبود کیفیت فرود بود ($p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.492$). نتیجه گیری: تمرینات یکپارچه عصبی-عضلانی می‌تواند ظرفیت هوازی، تعادل پویا و کیفیت فرود بازیکنان جوان فوتبال را بهبود دهد. ادغام این برنامه در گرم کردن معمول تیم می‌تواند راهکاری عملی برای ارتقای آمادگی جسمانی و کنترل حرکتی بازیکنان باشد.

استناد: عبدالحمزه اسماعیل محسن، محمد؛ بلبلی، لطفعلی و فرضی زاده، رضا. (۱۴۰۴). اثر بخشی هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی - عضلانی بر ظرفیت هوازی، تعادل پویا و خطاهای فرود در بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال شهر بابل. *پژوهش‌های نوین در مطالعات علوم انسانی اسلامی*، (ویژه نامه) ۴، ۱-۲۳. <https://doi.org/10.22034/api.2026.2092153.1821>



DOI: <https://doi.org/10.22034/api.2026.2092153.1821>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه لرستان.

مقدمه

فوتبال از جمله ورزش‌های تیمی متناوب است که در آن دوره‌های فعالیت با شدت کم و متوسط، به‌طور پی‌درپی با دوییدن‌های سریع، شتاب‌گیری، کاهش سرعت، تغییر جهت، پرش، درگیری بدنی و اجرای مهارت تحت فشار زمانی جایگزین می‌شوند. در دو دهه اخیر، ساختار این الزامات نیز دگرگون شده است. بررسی طولی مسابقات لیگ برتر انگلستان نشان داد که با وجود تغییر اندک در مسافت کل پیموده‌شده، مسافت و تعداد فعالیت‌های پرفشار به‌طور محسوسی افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که مسافت دوییدن با شدت بالا حدود ۳۰ درصد و مسافت دوییدن سرعتی حدود ۳۵ درصد بیشتر شده است (Barnes et al., 2014). مرورهای جدیدتر نیز تأیید می‌کنند که سهم کنش‌های پرفشار در فوتبال سطح بالا افزایش یافته و بسیاری از لحظات تعیین‌کننده مسابقه در همین کنش‌های کوتاه، انفجاری و پرتکرار رخ می‌دهند (Filter et al., 2023). بنابراین، آماده‌سازی بازیکن فوتبال دیگر نمی‌تواند تنها بر توانایی پیمودن مسافت زیاد یا تحمل فعالیت طولانی متکی باشد، بلکه باید ظرفیت تکرار حرکات شدید و حفظ کیفیت اجرای مهارت در شرایط خستگی را نیز توسعه دهد.

توان هوازی یکی از پایه‌های اصلی تحمل این الگوی فعالیت است. هرچند بسیاری از کنش‌های سرنوشت‌ساز فوتبال ماهیتی بی‌هوازی دارند، بازیابی میان تلاش‌های پرفشار، بازسازی ذخایر انرژی و حفظ توان تکرار فعالیت تا دقایق پایانی مسابقه، تا حد زیادی به کارایی دستگاه قلبی‌تنفسی وابسته است. از این‌رو، حداکثر اکسیژن مصرفی و سایر شاخص‌های استقامت تناوبی، در برنامه‌های آمادگی جسمانی فوتبال جایگاه مهمی دارند. شواهد نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی پرفشار و بازی‌های در ابعاد کوچک می‌توانند ظرفیت هوازی و عملکرد اختصاصی بازیکنان جوان را بهبود دهند (Buchheit & Laursen, 2013; Kunz et al., 2019). با این حال، افزایش صرف بار متابولیکی، بدون توجه کافی به توانایی بازیکن در کنترل اندام تحتانی، جذب نیرو و حفظ راستای مناسب مفاصل، ممکن است کیفیت حرکت را در شرایط خستگی کاهش دهد. از این منظر، آمادگی هوازی و کنترل عصبی‌عضلانی دو مؤلفه جدا از یکدیگر نیستند، بلکه به‌طور هم‌زمان بر توانایی بازیکن برای اجرای ایمن و مؤثر حرکات فوتبال اثر می‌گذارند.

در کنار افزایش مطالبات عملکردی، آسیب‌همچنان یکی از چالش‌های اساسی فوتبال رقابتی است. بر پایه یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل، میزان کلی بروز آسیب در فوتبال حرفه‌ای مردان به‌طور میانگین حدود ۸٫۱ آسیب به ازای هر هزار ساعت مواجهه گزارش شده و میزان آسیب در مسابقه به‌مراتب بیشتر از تمرین بوده است (López-Valenciano et al., 2020). آسیب‌های اندام تحتانی، به‌ویژه آسیب‌های عضلانی، زانو و مچ پا، بخش عمده زمان ازدست‌رفته بازیکنان را تشکیل می‌دهند. در میان آنها، آسیب رباط متقاطع قدامی به دلیل دوره طولانی بازتوانی، احتمال آسیب مجدد و پیامدهای بلندمدت آن برای سلامت مفصل زانو اهمیت ویژه‌ای دارد. بسیاری از آسیب‌های غیربرخوردی زانو هنگام کاهش سرعت، فرود، چرخش یا تغییر جهت رخ می‌دهند؛ یعنی همان الگوهایی که برای موفقیت در فوتبال ضروری‌اند. همچنین، شتاب‌ها و کاهش سرعت‌های شدید، بار مکانیکی قابل توجهی بر دستگاه عضلانی‌اسکلتی وارد می‌کنند و باید در طراحی تمرین و پیشگیری از آسیب مورد توجه قرار گیرند (Harper et al., 2019).

توانایی مهار این بارها به عملکرد هماهنگ دستگاه عصبی و عضلانی وابسته است. کنترل عصبی‌عضلانی مناسب به بازیکن امکان می‌دهد وضعیت تنه، لگن، زانو و مچ پا را هنگام حرکات سریع تنظیم کند، نیروهای واردشده را به‌طور مؤثرتری جذب نماید و تعادل خود را پس از تماس با زمین یا تغییر ناگهانی مسیر حفظ کند. در مقابل، ضعف در کنترل تنه و لگن، کاهش ثبات وضعیتی، عدم تقارن اندام‌ها، والگوس پویای زانو، الگوی فرود سخت و زمان‌بندی نامناسب فعالیت عضلات می‌تواند بار وارد بر مفصل زانو را افزایش دهند. بررسی عوامل خطر عصبی‌عضلانی در بازیکنان پسر فوتبال نشان داده است که نارسایی‌های کنترل حرکتی و عدم تقارن در تکالیف پویا، از متغیرهای مهمی هستند که باید در غربالگری و برنامه‌ریزی تمرینی این گروه مورد توجه قرار گیرند (Read et al., 2016). بر این اساس، ارزیابی آمادگی

بازیکن تنها با آزمون های دویدن یا قدرت عضلانی تصویر کاملی ارائه نمی دهد و شاخص هایی مانند تعادل پویا و کیفیت فرود نیز باید در کنار ظرفیت هوازی بررسی شوند.

این موضوع در بازیکنان ۱۸ تا ۲۰ سال اهمیت بیشتری پیدا می کند؛ زیرا این دوره معمولاً با گذار از فوتبال رده های پایه به تمرینات و مسابقات بزرگسالان همراه است. بازیکن در این مرحله با سرعت بازی بالاتر، برخوردهای شدیدتر، افزایش حجم و تراکم مسابقات و رقابت بیشتر برای تثبیت جایگاه خود روبه رو می شود. در عین حال، سابقه تمرینی، وضعیت بلوغ زیستی، کیفیت آموزش حرکتی و میزان رشد قدرت عضلانی در بازیکنان هم سن یکسان نیست. در نتیجه، ممکن است افزایش توان تولید نیرو و سرعت حرکت، همواره با رشد متناسب توانایی کنترل و جذب نیرو همراه نباشد. این ناهمگونی، ضرورت استفاده از برنامه هایی را برجسته می کند که علاوه بر ارتقای آمادگی جسمانی، مهارت های بنیادی حرکت، ثبات مرکزی، تعادل، قدرت، توان و الگوهای صحیح فرود را نیز تقویت کنند. برنامه تمرینی مناسب برای این سن باید بازیکن را برای مطالبات فوتبال بزرگسالان آماده سازد، بدون آنکه بار تمرینی غیرضروری یا تمرینات پراکنده و تکراری به برنامه هفتگی او تحمیل شود.

تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی با همین منطق شکل گرفته اند. این نوع تمرین، یک روش منفرد نیست، بلکه ترکیبی هدفمند از تمرینات قدرتی، تعادلی، ثبات مرکزی، جهشی، چابکی، تغییر جهت و آموزش الگوهای صحیح حرکت است که بر اساس سطح آمادگی و نیاز ورزشکار پیشرفت داده می شود. هدف اصلی آن، بهبود هماهنگی میان دستگاه عصبی و عضلانی و افزایش توانایی ورزشکار در تولید، انتقال و مهار نیرو در موقعیت های ورزشی است. برخلاف تمرینات تعادلی ساده یا حرکات اصلاحی جداگانه، رویکرد یکپارچه تلاش می کند اجزای مختلف آمادگی را در یک ساختار منظم و نزدیک به نیازهای واقعی ورزش به کار گیرد (Myer et al., 2011). در فوتبال، این ساختار می تواند در قالب گرم کردن هدفمند یا بخشی از برنامه آمادگی جسمانی اجرا شود و شامل حرکاتی باشد که به تدریج از کنترل ساده وضعیت بدن به تکالیف سریع، چندجهتی و واکنشی پیش می روند.

پشتوانه پژوهشی این رویکرد در زمینه پیشگیری از آسیب قابل توجه است. مرور نظام مند هوبشر و همکاران نشان داد که برنامه های چندمؤلفه ای عصبی عضلانی در کاهش آسیب های اندام تحتانی، آسیب های حاد زانو و پیچ خوردگی مچ پا مؤثرند (Hübscher et al., 2010). فراتحلیل امری و همکاران نیز اثر حفاظتی تمرینات عصبی عضلانی را در ورزش های تیمی جوانان گزارش کرد (Emery et al., ۲۰۱۵). یافته های جدیدتر نشان می دهند که ترکیب تمرینات قدرتی، ثباتی و انعطاف پذیری در برنامه های پیشگیری می تواند میزان بروز آسیب را در ورزشکاران جوان کاهش دهد (Robles-Palazón et al., 2024). با این حال، اثربخشی این برنامه ها تنها به محتوای تمرین وابسته نیست؛ نحوه آموزش مربی، پایبندی بازیکنان، تداوم اجرا و ادغام برنامه در تمرین معمول تیم نیز تعیین کننده است (Lutz et al., 2024). بنابراین، برنامه ای که از نظر علمی مناسب باشد اما به دلیل طولانی بودن، پیچیدگی یا ناسازگاری با ساختار تمرین تیمی به طور منظم اجرا نشود، در عمل سود محدودی خواهد داشت.

علاوه بر پیشگیری از آسیب، تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی می توانند برخی مؤلفه های عملکرد جسمانی را نیز ارتقا دهند. فراتحلیل فوده و همکاران نشان داد که برنامه های چندمؤلفه ای پیشگیری از آسیب، افزون بر کاهش آسیب، می توانند سازگاری های مثبتی در تعادل، قدرت، توان و چابکی ورزشکاران جوان ایجاد کنند (Faude et al., 2017). در یک کارآزمایی بر بازیکنان پسر فوتبال، هشت هفته تمرین یکپارچه عصبی عضلانی موجب بهبود تعادل پویا، قدرت، توان پرش، سرعت و تغییر جهت شد (Hammami et al., 2023). این یافته ها نشان می دهد که مرز میان تمرین پیشگیری از آسیب و تمرین ارتقای عملکرد، آن قدر که در برنامه های سنتی تصور می شود، قطعی نیست. تمرینی که کیفیت حرکت، توان تولید نیرو و کنترل اندام را افزایش می دهد، می تواند هم زمان به اجرای بهتر مهارت های ورزشی و کاهش مواجهه با الگوهای حرکتی نامطلوب کمک کند.

با وجود این شواهد، بخش مهمی از برنامه‌های رایج فوتبال هنوز بر تفکیک اجزای آمادگی استوار است. تمرینات هوازی معمولاً در قالب دویدن‌های خطی، تناوبی یا بازی‌های محدود انجام می‌شوند؛ تمرینات قدرتی و جهشی در بخش دیگری قرار می‌گیرند؛ و حرکات پیشگیرانه اغلب به چند دقیقه تمرین تعادلی یا کششی در گرم کردن محدود می‌شوند. چنین تفکیکی، اگرچه از نظر سازمان‌دهی ساده به نظر می‌رسد، ممکن است با ماهیت واقعی فوتبال هماهنگ نباشد؛ زیرا بازیکن در مسابقه باید هم‌زمان انرژی تولید کند، تصمیم بگیرد، تعادل خود را حفظ کند، نیرو را جذب کند و حرکت بعدی را با سرعت اجرا نماید. از سوی دیگر، زمان محدود تمرین تیمی سبب می‌شود افزودن واحدهای جداگانه برای استقامت، قدرت، تعادل و پیشگیری از آسیب همیشه امکان‌پذیر نباشد. در چنین شرایطی، استفاده از یک برنامه کوتاه و چندمؤلفه‌ای که جایگزین بخشی از گرم کردن معمول شود، می‌تواند از نظر کاربردی برای مربیان ارزشمند باشد.

از دیدگاه فیزیولوژیک نیز ادغام مؤلفه‌های قدرتی، جهشی و حرکات چندجهتی با تراکم مناسب می‌تواند علاوه بر تحریک عصبی عضلانی، پاسخ قلبی تنفسی قابل توجهی ایجاد کند. شواهد مربوط به تمرین هم‌زمان در نوجوانان نشان می‌دهد که ترکیب سنجیده تمرینات قدرتی و استقامتی لزوماً به افت سازگاری منجر نمی‌شود و می‌تواند چندین مؤلفه آمادگی جسمانی را به‌طور هم‌زمان بهبود دهد (Gäbler et al., 2018). با این حال، نمی‌توان صرفاً بر اساس افزایش ضربان قلب حین تمرین نتیجه گرفت که هر برنامه عصبی عضلانی ظرفیت هوازی را نیز ارتقا خواهد داد. ایجاد سازگاری هوازی به شدت، مدت، تراکم، حجم عضلات درگیر و پیشرفت بار وابسته است (Buchheit & Laursen, 2013). از این رو، بررسی تجربی این مسئله ضروری است که آیا یک برنامه یکپارچه و زمان‌مند، هنگامی که با شدت و پیشرفت مناسب طراحی شود، می‌تواند در کنار بهبود کنترل حرکتی، ظرفیت هوازی بازیکنان فوتبال را نیز افزایش دهد.

یکی از راه‌های بررسی اثر چنین برنامه‌ای، استفاده هم‌زمان از شاخص‌های فیزیولوژیک و آزمون‌های عملکرد حرکتی است. آزمون تعادل ۷ برای سنجش کنترل وضعیتی پویا، میزان دستیابی اندام و عدم تقارن عملکردی کاربرد دارد و در محیط‌های ورزشی به‌سادگی قابل اجراست. کیفیت فرود نیز می‌تواند با سامانه امتیازدهی خطای فرود ارزیابی شود. این سامانه، خطاهای قابل مشاهده در وضعیت تنه و اندام تحتانی را هنگام پرش و فرود ثبت می‌کند و به‌عنوان ابزاری میدانی برای ارزیابی الگوی فرود شناخته شده است. پادوآ و همکاران نشان دادند که امتیازهای بالاتر این آزمون با الگوهای فرود نامطلوب‌تر همراه است و این ابزار می‌تواند برای شناسایی بازیکنانی که به آموزش حرکتی بیشتری نیاز دارند مفید باشد (Padua et al., 2015). با این حال، امتیاز این آزمون نباید معادل وقوع قطعی آسیب تلقی شود؛ بلکه شاخصی از کیفیت حرکت و عوامل خطر بیومکانیکی قابل اصلاح است. این تمایز برای تفسیر دقیق نتایج و پرهیز از نتیجه‌گیری فراتر از داده‌ها ضروری است.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های مربوط به تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی عمدتاً بر کاهش میزان آسیب یا بهبود متغیرهایی مانند قدرت، توان، سرعت، چابکی و تعادل تمرکز داشته‌اند. در مقابل، مطالعات مربوط به ارتقای ظرفیت هوازی بازیکنان جوان بیشتر به تمرینات تناوبی پرفشار و بازی‌های در ابعاد کوچک پرداخته‌اند (Kunz et al., 2019). در نتیجه، شواهد درباره اثر یک برنامه واحد بر مجموعه‌ای از پیامدهای فیزیولوژیک و حرکتی همچنان محدود است. به‌ویژه، مطالعات اندکی در بازیکنان مرد ۱۸ تا ۲۰ سال نیمه‌نخبه بررسی کرده‌اند که آیا جایگزینی گرم کردن معمول با یک برنامه پیش‌رونده عصبی عضلانی می‌تواند به‌طور هم‌زمان حداکثر اکسیژن مصرفی، ضربان قلب استراحت، تعادل ایستا و پویا، انعطاف‌پذیری و کیفیت فرود را بهبود بخشد. همچنین، روشن نیست که بهبود کنترل وضعیتی تا چه اندازه با تغییر کیفیت فرود همراه است. این خلأ، از نظر علمی و کاربردی اهمیت دارد؛ زیرا پاسخ به آن می‌تواند به طراحی برنامه‌ای کم‌هزینه، قابل اجرا و متناسب با محدودیت زمانی باشگاه‌های فوتبال کمک کند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تعیین اثربخشی هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی بر ظرفیت هوازی، ضربان قلب استراحت، تعادل ایستا و پویا، انعطاف‌پذیری و خطاهای فرود در بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال انجام شد. فرض بر این بود که اجرای این برنامه، در مقایسه با تمرین معمول تیم، موجب افزایش ظرفیت هوازی، بهبود تعادل

و انعطاف پذیری و کاهش خطاهای بیومکانیکی فرود می شود. همچنین، با توجه به نقش کنترل وضعیتی در تنظیم راستای اندام تحتانی و جذب نیرو، بررسی شد که آیا تغییرات تعادل پویا می تواند بخشی از تغییرات مشاهده شده در کیفیت فرود را توضیح دهد.

روش پژوهش

طرح پژوهش و جامعه آماری

پژوهش حاضر به صورت کارآزمایی تصادفی کنترل شده، با طرح دوگروهی موازی و اندازه گیری های پیش آزمون و پس آزمون انجام شد. مراحل طراحی، تخصیص شرکت کنندگان، اجرای مداخله و گزارش نتایج بر اساس اصول راهنمای گزارش دهی کارآزمایی های تصادفی تنظیم شد. متغیر مستقل پژوهش، برنامه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی و متغیرهای وابسته شامل حداکثر اکسیژن مصرفی برآورد شده، ضربان قلب استراحت، تعادل ایستا و پویا، انعطاف پذیری و امتیاز خطای فرود بودند.

جامعه پژوهش را بازیکنان مرد ۱۸ تا ۲۰ سال باشگاه فوتبال شهر بابل عراق تشکیل دادند که به طور منظم در تمرینات و مسابقات لیگ منطقه ای شرکت داشتند. معیارهای ورود شامل قرارداد داشتن در دامنه سنی ۱۸ تا ۲۰ سال، برخوردار بودن از حداقل سه سال سابقه تمرین و رقابت سازمان یافته فوتبال و شرکت منظم در تمرینات تیم بود. وجود آسیب اسکلتی عضلانی محدود کننده عملکرد اندام تحتانی طی شش ماه گذشته، سابقه اختلالات قلبی عروقی یا عصبی و شرکت همزمان در برنامه های بدنسازی خارج از برنامه تیم، از معیارهای عدم ورود در نظر گرفته شدند. همچنین، غیبت در بیش از ۲۰ درصد جلسات مداخله، ایجاد آسیب مؤثر بر اجرای آزمون ها و تکمیل نکردن پس آزمون ها از معیارهای خروج حین پژوهش بودند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power، نسخه ۳، برآورد شد. با در نظر گرفتن اندازه اثر متوسط ۰٫۲۵، سطح معناداری ۰٫۰۵ و توان آماری ۰٫۸۰، حداقل حجم نمونه ۲۸ نفر تعیین شد. با توجه به احتمال ریزش نمونه، ۳۴ بازیکن وارد پژوهش شدند. شرکت کنندگان پس از طبقه بندی بر اساس پست بازی، به صورت تصادفی و با نسبت مساوی در گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی و گروه کنترل قرار گرفتند. در طول پژوهش، چهار نفر به دلیل آسیب های جزئی ناشی از فعالیت های معمول فوتبال و نامرتب با مداخله از پژوهش خارج شدند و در نهایت داده های ۳۰ بازیکن، شامل ۱۵ نفر در هر گروه، تحلیل شد.

پژوهش پس از تأیید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه محقق اردبیلی و اخذ رضایت نامه آگاهانه کتبی از شرکت کنندگان اجرا شد. اطلاعات آزمودنی ها محرمانه نگه داشته شد و شرکت در پژوهش داوطلبانه بود.

فرایند پژوهش ۱۰ هفته به طول انجامید و شامل یک هفته آشناسازی و اجرای پیش آزمون ها، هشت هفته مداخله تمرینی و یک هفته اجرای پس آزمون ها بود. یک هفته پیش از آغاز مداخله، شرکت کنندگان در جلسه ای ۶۰ دقیقه ای با شیوه اجرای آزمون های تعادل، انعطاف پذیری، پرش و فرود و آزمون دویدن آشنا شدند.

پیش آزمون ها در دو جلسه و با فاصله ۴۸ ساعت انجام شدند. در جلسه نخست، اندازه گیری های پیکرسنجی، ضربان قلب استراحت، تعادل ایستا و پویا و انعطاف پذیری انجام گرفت. در جلسه دوم، ابتدا کیفیت پرش و فرود و سپس ظرفیت هوازی ارزیابی شد. پس آزمون ها نیز ۴۸ تا ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، با همان ترتیب و شرایط پیش آزمون اجرا شدند. از شرکت کنندگان خواسته شد در ۴۸ ساعت پیش از آزمون از فعالیت شدید و در ۲۴ ساعت پیش از آن از مصرف نوشیدنی های حاوی کافئین خودداری کنند.

مداخله تمرینی

شرکت کنندگان گروه آزمایش به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته و در مجموع ۲۴ جلسه، برنامه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی را اجرا کردند. مدت هر جلسه تقریباً ۳۰ دقیقه بود و این برنامه جایگزین گرم کردن معمول تیم شد. بازیکنان پس از پایان مداخله، تمرینات فنی و تاکتیکی معمول تیم را ادامه دادند.

برنامه تمرینی شامل تمرینات تعادل، ثبات مرکزی، قدرت، حرکات جهشی، کنترل فرود، کاهش سرعت، تغییر جهت و چابکی واکنشی بود و در سه مرحله پیش‌رونده اجرا شد. در هفته‌های اول و دوم، تمرکز بر آموزش الگوهای صحیح حرکت، کنترل تنه و اندام تحتانی، ثبات ایستا و فرود دوپا بود. در هفته‌های سوم تا پنجم، تمرینات مقاومتی، حرکات جهشی پویا، پرش و فرود تک‌پا، اسکوات جام و حرکات چندجهتی به برنامه افزوده شد. در هفته‌های ششم تا هشتم، تمرینات با سرعت و پیچیدگی بیشتر و در شرایط نزدیک‌تر به فوتبال، شامل تغییر جهت سریع، پرش و فرود چندجهتی و چابکی واکنشی اجرا شدند. شدت تمرین از طریق افزایش سرعت، مقاومت، پیچیدگی حرکت و کاهش سطح اتکا به تدریج افزایش یافت.

گروه کنترل برنامه معمول فوتبال خود را شامل سه تا چهار جلسه تمرین فنی، تاکتیکی، بازی‌های در ابعاد کوچک و آماده‌سازی عمومی در هفته ادامه داد و هیچ برنامه ساختاریافته‌ای با هدف بهبود کنترل عصبی عضلانی یا مکانیک فرود دریافت نکرد.

بار درونی جلسات با استفاده از روش ادراک فشار جلسه تمرین بررسی شد. بازیکنان پس از هر جلسه، شدت کلی تمرین را بر اساس مقیاس صفر تا ۱۰ بزرگ گزارش کردند و بار تمرینی بر اساس مدت جلسه و امتیاز ادراک فشار محاسبه شد. حضور و غیاب شرکت کنندگان نیز ثبت شد و شرکت در حداقل ۸۰ درصد جلسات برای باقی‌ماندن در تحلیل نهایی الزامی بود.

ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری

قد ایستاده با استفاده از قدسنج دیواری سکا مدل ۲۱۳، ساخت آلمان، با دقت ۰٫۱ سانتی‌متر و توده بدن با ترازوی دیجیتال تانیتا مدل BWB-۸۰۰، ساخت ژاپن، با دقت ۰٫۱ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدنی بر اساس توده بدن و قد شرکت کنندگان محاسبه شد.

ضربان قلب استراحت پیش از گرم کردن و آزمون‌های بدنی، پس از قرارگرفتن آزمودنی در وضعیت استراحت، اندازه‌گیری و بر حسب تعداد ضربان در دقیقه ثبت شد.

برای برآورد حداکثر اکسیژن مصرفی از آزمون دویدن ۱۲ دقیقه‌ای کوپر استفاده شد. شرکت کنندگان طی ۱۲ دقیقه بیشترین مسافت ممکن را در پیست ۴۰۰ متری طی کردند. مسافت کل با دقت یک متر ثبت شد و حداکثر اکسیژن مصرفی نسبی بر اساس معادله استاندارد آزمون کوپر برآورد گردید. به دلیل اندازه‌گیری نشدن مستقیم تبدلات تنفسی، متغیر حاصل در پژوهش حاضر «حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده» در نظر گرفته شد.

تعادل پویا با استفاده از آزمون تعادل Y ارزیابی شد. شرکت کننده روی یک پا در مرکز دستگاه قرار گرفت و با پای آزاد، نشانگر را در جهت‌های قدامی، خلفی داخلی و خلفی خارجی تا بیشترین فاصله ممکن حرکت داد. سه کوشش موفق در هر جهت ثبت شد و فاصله‌های دستیابی با توجه به طول اندام تحتانی نرمال‌سازی شدند. نمره ترکیبی تعادل پویا بر اساس عملکرد سه جهت محاسبه و به صورت درصد گزارش شد.

تعادل ایستا با آزمون ایستادن لک‌لک اندازه‌گیری شد. شرکت کننده روی پای غالب ایستاد، دست‌ها را روی کمر قرار داد و کف پای غیراتکا را در مجاورت سطح داخلی زانوی پای اتکا گذاشت. زمان‌گیری با بلندشدن پاشنه پای اتکا آغاز و در صورت تماس پاشنه با زمین، جابه‌جایی پای اتکا، جداشدن دست‌ها از کمر یا برهم‌خوردن وضعیت آزمون متوقف شد. سه کوشش انجام شد و بهترین زمان بر حسب ثانیه ثبت گردید.

انعطاف پذیری با آزمون نشست و رساندن و دستگاه ساخت شرکت لافایت، ایالات متحده، ارزیابی شد. شرکت کننده با زانوهای باز و کف پاهای چسبیده به دستگاه، دست ها را بدون حرکت جهشی به سمت جلو حرکت داد. سه کوشش انجام شد و بهترین رکورد با دقت ۰٫۵ سانتی متر ثبت گردید.

کیفیت پرش و فرود با استفاده از سامانه امتیازدهی خطای فرود ارزیابی شد. شرکت کنندگان از روی جعبه‌ای به ارتفاع ۳۰ سانتی متر در فاصله‌ای معادل ۵۰ درصد قد بدن فرود آمدند و بلافاصله یک پرش عمودی با حداکثر توان انجام دادند. سه کوشش معتبر با دو دوربین و نرخ ثبت ۶۰ فریم در ثانیه از نماهای روبه‌رو و جانبی فیلم برداری شد. ویدئوهای کدگذاری شده توسط ارزیابی که از تخصیص گروهی شرکت کنندگان اطلاع نداشت، بر اساس فرم ۱۷ مؤلفه‌ای امتیازدهی شدند. امتیاز بیشتر نشان دهنده تعداد بیشتر خطاهای حرکتی و کیفیت نامطلوب تر فرود بود. پایایی درون ارزیاب پیش از تحلیل بررسی شد و ضریب همبستگی درون طبقه‌ای بیشتر از ۰٫۹۰ به دست آمد.

تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم افزار اسپاس اس نسخه ۲۸ تحلیل شدند. متغیرهای کمی با میانگین و انحراف معیار توصیف شدند. طبیعی بودن توزیع داده‌ها و باقیمانده‌های مدل با آزمون شاپیرو - ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین بررسی شد.

برای تعیین اثر مداخله بر هر متغیر، از تحلیل کوواریانس یک‌راهه استفاده شد. در هر تحلیل، مقدار پس آزمون به‌عنوان متغیر وابسته، گروه به‌عنوان عامل ثابت و مقدار پیش آزمون همان متغیر به‌عنوان هم‌پراش در نظر گرفته شد. پیش از اجرای تحلیل، ارتباط خطی میان پیش آزمون و پس آزمون و همگنی شیب‌های رگرسیون بررسی شد. نتایج با تفاوت میانگین تعدیل شده، فاصله اطمینان ۹۵ درصد، آماره F و سطح معناداری گزارش شدند.

اندازه اثر با استفاده از مجذور اتای تفکیکی محاسبه شد و مقادیر ۰٫۰۱، ۰٫۰۶ و ۰٫۱۴ به ترتیب به‌عنوان اثر کوچک، متوسط و بزرگ تفسیر شدند. سطح معناداری آماری کمتر از ۰٫۰۵ در نظر گرفته شد.

برای بررسی اکتشافی نقش تغییرات تعادل پویا در ارتباط میان مداخله و کیفیت فرود، تحلیل میانجی‌گری با ۵۰۰۰ بازنمونه‌گیری بوت استرپ انجام شد. در این مدل، گروه تمرینی متغیر مستقل، تغییر تعادل پویا متغیر میانجی و تغییر امتیاز خطای فرود متغیر وابسته بود. اثر غیرمستقیم زمانی معنادار تلقی شد که فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن شامل صفر نبود.

یافته‌ها

پیش از انجام تحلیل‌های استنباطی، داده‌ها از نظر خطاهای ورود، مقادیر گمشده، داده‌های پرت و مفروضه‌های آماری بررسی شدند. در میان شرکت کنندگانی که مراحل پژوهش را تکمیل کردند، هیچ داده گمشده‌ای مشاهده نشد. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که انحراف معناداری از توزیع طبیعی در باقیمانده‌های استاندارد شده متغیرهای پژوهش وجود نداشت ($p > 0.05$). همچنین، نتایج آزمون لوین بیانگر برقرار بودن فرض همگنی واریانس‌ها در دو گروه بود ($p > 0.05$).

از ۳۴ بازیکنی که در آغاز پژوهش به صورت تصادفی در دو گروه تخصیص یافتند، ۳۰ نفر دوره مداخله و ارزیابی‌های پس آزمون را به طور کامل به پایان رساندند. چهار بازیکن، شامل دو نفر از گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی و دو نفر از گروه کنترل، به دلیل آسیب‌های جزئی ایجاد شده در تمرینات یا مسابقات معمول فوتبال که با مداخله پژوهش ارتباطی نداشت، از ادامه همکاری خارج شدند. بنابراین، میزان ریزش کل نمونه ۱۱/۸ درصد بود و داده‌های ۳۰ بازیکن، شامل ۱۵ نفر در هر گروه، در تحلیل نهایی وارد شد.

به منظور بررسی اکتشافی ویژگی‌های افراد خارج شده، سن، شاخص توده بدنی و حداکثر اکسیژن مصرفی برآورد شده در خط پایه میان تکمیل کنندگان و افراد خارج شده مقایسه شد. نتایج آزمون تی مستقل تفاوت معناداری را میان دو گروه نشان

نداد ($p > 0.04$). با این حال، به دلیل تعداد اندک افراد خارج شده، این یافته باید با احتیاط تفسیر شود و صرفاً نشان می‌دهد که در متغیرهای پایه بررسی شده، تفاوت آشکاری میان تکمیل‌کنندگان و افراد خارج شده مشاهده نشد. شکل ۱ جریان شرکت‌کنندگان را از مرحله بررسی شرایط ورود تا تخصیص تصادفی، پیگیری و ورود به تحلیل نهایی نشان می‌دهد. از ۳۴ بازیکنی که به صورت تصادفی در دو گروه قرار گرفتند، ۳۰ نفر شامل ۱۵ نفر در گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی و ۱۵ نفر در گروه کنترل، مراحل مداخله و ارزیابی‌های پس‌آزمون را تکمیل کردند و داده‌های آنان در تحلیل نهایی وارد شد.

شکل ۱. نمودار جریان شرکت‌کنندگان در مراحل جذب، تخصیص تصادفی، پیگیری و تحلیل نهایی



ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و فیزیولوژیک شرکت‌کنندگان در آغاز پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج مقایسه‌های مقدماتی نشان داد که بین دو گروه از نظر سن، توده بدن، سابقه تمرین، حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده، ضربان قلب استراحت و امتیاز خطای فرود تفاوت آماری معناداری وجود نداشت ($p > 0.05$). اندازه تفاوت‌های بین‌گروهی برای بیشتر متغیرها ناچیز بود؛ با این حال، سابقه تمرین و امتیاز خطای فرود به ترتیب اندازه اثر ۰.۴۰ و ۰.۳۴ داشتند. از این رو، نمی‌توان هم‌ارزی کامل دو گروه را صرفاً بر اساس غیرمعنادار بودن آزمون‌ها نتیجه گرفت. در تحلیل‌های اصلی، مقادیر پیش‌آزمون هر متغیر به‌عنوان هم‌پراش وارد مدل شدند تا اثر تفاوت‌های اولیه احتمالی کنترل شود.

جدول ۱. ویژگی های جمعیت شناختی، فیزیولوژیک و بیومکانیکی شرکت کنندگان در آغاز پژوهش

متغیر	گروه کنترل (۱۵ نفر)	گروه آزمایش (۱۵ نفر)	مقدار p	اندازه اثر d کوهن
ویژگی های جمعیت شناختی				
سن (سال)	۰.۷۰ ± ۱۸.۹۳	۰.۶۵ ± ۱۹.۰۰	۰.۷۸	۰.۱۰
توده بدن (کیلوگرم)	۵.۶ ± ۷۲.۹	۴.۵ ± ۷۳.۸	۰.۶۲	۰.۱۸
سابقه تمرین (سال)	۱.۱ ± ۴.۷	۱.۲ ± ۵.۲	۰.۲۹	۰.۴۰
شاخص های فیزیولوژیک				
حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۱.۶۸ ± ۴۳.۰۵	۱.۷۶ ± ۴۳.۱۲	۰.۹۱	۰.۰۴
ضربان قلب استراحت (ضربان در دقیقه)	۵.۲ ± ۷۴.۰	۴.۸ ± ۷۴.۲	۰.۹۰	۰.۰۴
شاخص بیومکانیکی				
امتیاز خطای فرود	۰.۹۸ ± ۵.۶۷	۰.۹۸ ± ۵.۳۳	۰.۳۴	۰.۳۴

تغییرات ظرفیت هوازی

نتایج تحلیل کوواریانس، پس از کنترل مقادیر پیش آزمون، نشان داد که حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده در گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی به طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود [$F(1,27)=88.42, p<0.001$]. اندازه اثر این تفاوت بزرگ بود [مجذور اتای تفکیکی=۰.۷۶۶] که بیانگر اثر قابل توجه مداخله بر ظرفیت هوازی شرکت کنندگان است. تفاوت میانگین تعدیل شده بین دو گروه ۴.۷۸ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه بود و فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن بین ۳.۷۷ تا ۵.۷۹ قرار داشت. این یافته نشان می دهد که پس از کنترل تفاوت های اولیه، شرکت کنندگان گروه آزمایش در پس آزمون به طور متوسط ۴.۷۸ واحد حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده بیشتری نسبت به گروه کنترل داشتند. مثبت بودن تفاوت میانگین تعدیل شده و قرار نگرفتن صفر در فاصله اطمینان ۹۵ درصد نیز مؤید برتری مداخله تمرینی در بهبود این شاخص است.

شکل ۲. مقایسه میانگین حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده در پیش آزمون و پس آزمون در دو گروه کنترل و تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی





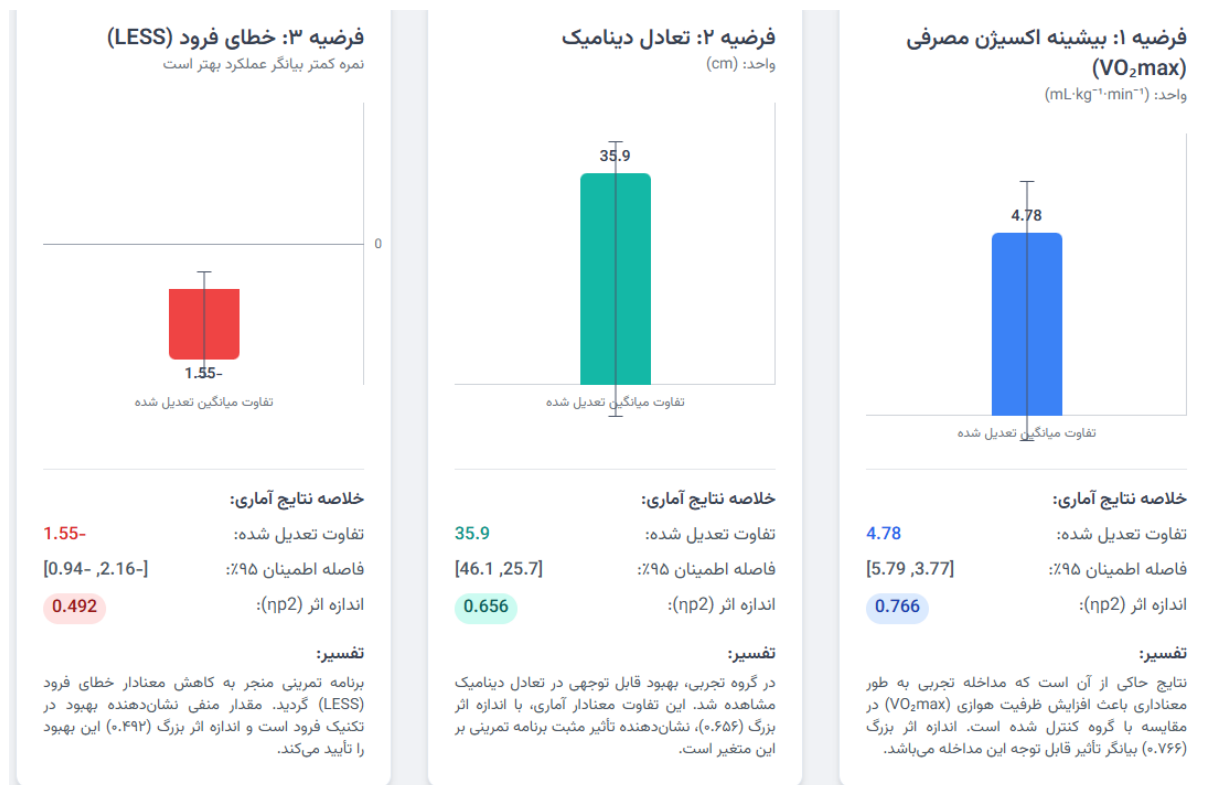
سازگاری‌های زیست‌حرکتی و بیومکانیکی

نتایج تحلیل کوواریانس، پس از کنترل مقادیر پیش‌آزمون، نشان داد که در شاخص‌های زیست‌حرکتی و بیومکانیکی نیز بین دو گروه تفاوت‌های معناداری وجود داشت. در آزمون تعدادل ۷، نمره تعدادل پویای گروه تمرینات یکپارچه عصبی-عضلانی به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود $F(1,27)=51.60, p<0.001, \eta^2=0.656$ ، $F(1,27)=51.60, p<0.001, \eta^2=0.656$. تفاوت میانگین تعدیل‌شده بین دو گروه ۳۵.۹ سانتی‌متر بود و فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن بین ۲۵.۷ تا ۴۶.۱ قرار داشت. این یافته نشان می‌دهد که پس از کنترل مقادیر پایه، عملکرد گروه آزمایش در تعدادل پویا به‌طور متوسط ۳۵.۹ سانتی‌متر بیشتر از گروه کنترل بود.

همچنین، امتیاز خطای فرود در گروه تمرینات یکپارچه عصبی-عضلانی به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل بود $F(1,27)=26.17, p<0.001, \eta^2=0.492$ ، $F(1,27)=26.17, p<0.001, \eta^2=0.492$. تفاوت میانگین تعدیل‌شده بین دو گروه ۱.۵۵- خطا بود و فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن از ۲.۱۶- تا ۰.۹۴- متغیر بود. با توجه به

اینکه امتیاز کمتر در این آزمون نشان دهنده خطاهای حرکتی کمتر و کیفیت بهتر فرود است، این یافته بیانگر بهبود معنادار مکانیک فرود در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل است.

شکل ۳. تفاوت میانگین های تعدیل شده متغیرهای اصلی بین دو گروه کنترل و تمرینات یکپارچه عضلانی



تحلیل حساسیت

برای بررسی استواری نتایج، تحلیل حساسیت با استفاده از تحلیل کوواریانس رتبه‌ای کواد انجام شد. نتایج این تحلیل نشان داد که تفاوت‌های بین گروهی در حداکثر اکسیژن مصرفی برآورد شده، تعادل پویا و امتیاز خطای فرود همچنان معنادار باقی ماندند $p < 0.001$ ، $p < 0.001$ ، $p < 0.001$. این یافته نشان می‌دهد که نتایج اصلی پژوهش نسبت به نقض احتمالی برخی مفروضه‌های پارامتریک از استحکام مناسبی برخوردار بودند.

تحلیل میانجی‌گری اکتشافی

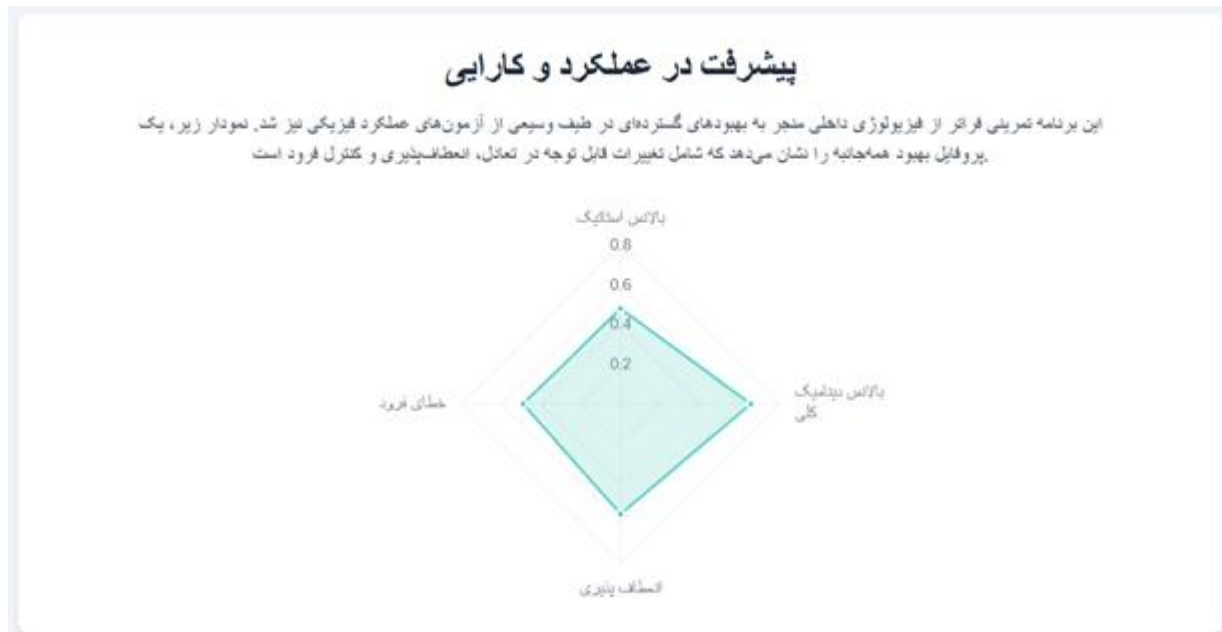
به منظور بررسی اکتشافی نقش تعادل پویا در ارتباط بین مداخله تمرینی و تغییر کیفیت فرود، تحلیل میانجی‌گری با استفاده از روش بوت‌استرپ ناپارامتریک و ۵۰۰۰ باز نمونه‌گیری انجام شد. در این مدل، گروه تمرینی به‌عنوان متغیر مستقل، تغییر تعادل پویا به‌عنوان متغیر میانجی و تغییر امتیاز خطای فرود به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر غیرمستقیم مداخله از طریق تغییرات تعادل پویا معنادار بود؛ به‌گونه‌ای که برآورد نقطه‌ای اثر غیرمستقیم برابر با -0.91 و فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن بین -1.48 تا -0.45 قرار داشت. از آنجا که این فاصله اطمینان شامل صفر نبود، می‌توان گفت بهبود تعادل پویا احتمالاً بخشی از اثر مداخله بر بهبود کیفیت فرود را تبیین می‌کند. با این حال، با توجه به حجم نمونه و ماهیت اکتشافی تحلیل، این یافته باید با احتیاط تفسیر شود.

جدول ۲. خلاصه اثرات مداخله بر متغیرهای اصلی پژوهش

متغیر وابسته	تفاوت میانگین تعدیل شده [فاصله اطمینان ۹۵٪]	مقدار p	اندازه اثر (η^2)
حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده	۴.۷۸+ [۳.۷۷, ۵.۷۹]	>۰.۰۰۱	۰.۷۶۶
ضربان قلب استراحت	-۷.۴۵ [-۹.۸۱, -۵.۰۹]	>۰.۰۰۱	۰.۶۰۶
تعادل پویا	۳۵.۹+ [۲۵.۷, ۴۶.۱]	>۰.۰۰۱	۰.۶۵۶
امتیاز خطای فرود	-۱.۵۵ [-۲.۱۶, -۰.۹۴]	>۰.۰۰۱	۰.۴۹۲

یادداشت: تفاوت میانگین تعدیل شده از تفاضل گروه آزمایش منهای گروه کنترل به دست آمده است. مقادیر منفی برای ضربان قلب استراحت و امتیاز خطای فرود نشان دهنده بهبود در گروه آزمایش است.

شکل ۴. نمای کلی تغییرات متغیرهای عملکردی در گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی



درک اندازه اثر

مجذور اتای جزئی معیاری برای سنجش میزان تأثیر مداخله است. مقدار بالاتر به این معنی است که مداخله تأثیر بیشتری داشته است.



نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی بر ظرفیت هوازی، ضربان قلب استراحت، تعادل پویا و کیفیت الگوی فرود بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال انجام شد. یافته‌ها نشان داد که اجرای این برنامه، در مقایسه با تمرین معمول فوتبال، موجب افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده، کاهش ضربان قلب استراحت، بهبود تعادل پویا و کاهش خطاهای فرود شد. بزرگ بودن اندازه اثر متغیرهای اصلی نشان می‌دهد که تغییرات مشاهده شده تنها به معناداری آماری محدود نبوده و مداخله از نظر عملکردی نیز تأثیر قابل توجهی داشته است. همچنین، نتایج تحلیل

میانجی گری اکتشافی نشان داد که بخشی از اثر تمرینات بر کیفیت فرود ممکن است از مسیر بهبود تعادل پویا ایجاد شده باشد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که یک برنامه عصبی عضلانی چندمؤلفه‌ای، در صورت برخورداری از شدت، پیشرفت و تداوم مناسب، می‌تواند فراتر از یک برنامه صرفاً پیشگیرانه عمل کند و چند جنبه از آمادگی فیزیولوژیک و حرکتی بازیکنان جوان را به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار دهد.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، افزایش معنادار حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده در گروه تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی بود. پس از کنترل مقادیر پیش‌آزمون، ظرفیت هوازی گروه آزمایش به‌طور متوسط ۴۰۷۸ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه بیشتر از گروه کنترل بود. این نتیجه نشان می‌دهد که برنامه اجراشده، با وجود تمرکز اصلی بر تعادل، قدرت، حرکات جهشی، کنترل فرود و تغییر جهت، توانسته است بار متابولیکی مناسبی نیز ایجاد کند. درگیری هم‌زمان گروه‌های عضلانی بزرگ، اجرای متوالی حرکات چندجهتی، پرش‌ها، کاهش سرعت و تمرینات چابکی، همراه با زمان‌های استراحت نسبتاً محدود، احتمالاً ضربان قلب و نیاز اکسیژنی تمرین را افزایش داده است. همچنین، افزایش تدریجی سرعت، مقاومت و پیچیدگی حرکات در طول هشت هفته می‌تواند از سازگاری زود هنگام بازیکنان با یک بار ثابت جلوگیری کرده و محرک لازم برای بهبود عملکرد هوازی میدانی را حفظ کرده باشد.

کونز و همکاران (۲۰۱۹) در یک فراتحلیل نشان دادند که تمرینات تناوبی پر فشار و بازی‌های در ابعاد کوچک، هر دو می‌توانند شاخص‌های استقامتی و عملکرد اختصاصی بازیکنان جوان فوتبال را بهبود دهند؛ زیرا ساختار متناوب فعالیت و استراحت در این روش‌ها با نیازهای فیزیولوژیک فوتبال هماهنگ است (Kunz et al., 2019). اگرچه مداخله پژوهش حاضر یک برنامه تناوبی هوازی متعارف نبود، تراکم حرکات جهشی، چندجهتی و واکنشی می‌تواند الگویی مشابه از فعالیت‌های شدید کوتاه‌مدت و دوره‌های بازیابی ایجاد کرده باشد. گابلر و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مرور نظام‌مند خود گزارش کردند که ترکیب هدفمند تمرینات قدرتی و استقامتی در نوجوانان الزاماً موجب اختلال در سازگاری نمی‌شود و می‌تواند چند مؤلفه آمادگی جسمانی را به‌طور هم‌زمان ارتقا دهد (Gäbler et al., 2018). این یافته با نتیجه پژوهش حاضر همسو است و نشان می‌دهد که در صورت طراحی صحیح برنامه، توسعه توانایی‌های عصبی عضلانی و هوازی لزوماً در تعارض با یکدیگر قرار نمی‌گیرند.

هامامی و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان دادند که تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی در فوتبالیست‌های جوان موجب بهبود تعادل، قدرت، توان، سرعت و تغییر جهت می‌شود، هرچند در آن مطالعه ظرفیت هوازی اندازه‌گیری نشده بود (Hammami et al., 2023). شباهت نتایج عملکردی دو مطالعه را می‌توان به چندمؤلفه‌ای بودن برنامه‌ها، اجرای پیش‌رونده تمرین و استفاده از حرکات قدرتی، تعادلی و جهشی نسبت داد. باین‌حال، یافته پژوهش حاضر دامنه گسترده‌تری از سازگاری را نشان داد؛ زیرا علاوه بر شاخص‌های عصبی عضلانی، عملکرد هوازی میدانی نیز بهبود یافت.

در مقابل، ایمپلیتیزی و همکاران (۲۰۱۳) پس از اجرای نه هفته برنامه «فیفا ۱۱ پلاس»، بهبودهایی را در کنترل عصبی عضلانی و برخی شاخص‌های قدرت گزارش کردند، اما در بیشتر متغیرهای عملکردی تغییر قابل توجهی مشاهده نکردند (Impellizzeri et al., 2013). ناهمسویی نسبی این نتایج ممکن است به تفاوت در محتوای برنامه‌ها، سطح آمادگی اولیه بازیکنان و میزان بار متابولیکی تمرین مربوط باشد. مداخله پژوهش حاضر در مراحل میانی و پایانی شامل حرکات سریع، پرش‌های چندجهتی، کاهش سرعت و چابکی واکنشی بود و هر جلسه حدود ۳۰ دقیقه ادامه داشت؛ بنابراین، احتمالاً فشار قلبی تنفسی بیشتری نسبت به برنامه‌هایی داشته است که با سرعت پایین‌تر، توقف‌های بیشتر یا مدت کوتاه‌تر اجرا می‌شوند. کاهش معنادار ضربان قلب استراحت نیز با افزایش ظرفیت هوازی هم‌جهت بود. این تغییر می‌تواند نشان‌دهنده بهبود کارایی عمومی دستگاه قلبی عروقی و کاهش نیاز قلب به تعداد ضربان بیشتر در حالت استراحت باشد. باین‌حال، متغیرهایی مانند حجم ضربه‌ای قلب، تغییرپذیری ضربان قلب، حجم پلازما و فعالیت دستگاه عصبی خودمختار در این پژوهش اندازه‌گیری نشدند؛ بنابراین، نمی‌توان سازوکار دقیق کاهش ضربان قلب استراحت را مشخص کرد. افزون بر این، حداکثر اکسیژن مصرفی با آزمون کوپر برآورد شد و به‌صورت مستقیم با دستگاه تحلیل گاز اندازه‌گیری نشد. از این‌رو، افزایش مسافت

طی شده ممکن است علاوه بر سازگاری قلبی تنفسی، تا حدی از بهبود اقتصاد حرکت، تحمل فعالیت، آشنایی بیشتر با آزمون یا تنظیم مناسب تر سرعت ناشی شده باشد. بر این اساس، یافته حاضر از بهبود عملکرد هوازی میدانی حمایت می کند، اما برای نسبت دادن کامل تغییرات به افزایش واقعی حداکثر اکسیژن مصرفی، اندازه گیری مستقیم تبادلات تنفسی ضروری است. بهبود تعادل پویا یکی دیگر از یافته های اصلی پژوهش بود. پس از تعدیل مقادیر پایه، عملکرد گروه آزمایش در آزمون تعادل Y به طور معناداری بهتر از گروه کنترل بود. تعادل پویا در فوتبال به توانایی بازیکن برای کنترل مرکز جرم در محدوده سطح اتکا هنگام دویدن، توقف، ضربه زدن، تغییر جهت و فرود مربوط می شود. برنامه حاضر با استفاده از تمرینات تک پا و دوپا، حرکات چندجهتی، کاهش سطح اتکا، جابه جایی مرکز جرم و تکالیف واکنشی، بازیکنان را به تنظیم مداوم وضعیت تنه، لگن و اندام تحتانی وادار کرد. تکرار این تکالیف احتمالاً موجب بهبود هماهنگی بین عضلانی، استفاده مؤثرتر از اطلاعات حسی و تنظیم سریع تر پاسخ های وضعیتی شده است.

هامامی و همکاران (۲۰۲۳) پس از هشت هفته تمرین یکپارچه عصبی عضلانی، افزایش معناداری در تعادل پویای بازیکنان جوان فوتبال گزارش کردند (Hammami et al., 2023). شباهت مدت مداخله، ویژگی های سنی شرکت کنندگان و ماهیت چندمؤلفه ای برنامه می تواند همسویی نتایج دو پژوهش را توضیح دهد. در هر دو مطالعه، تمرینات تعادلی به صورت مجزا و ایستا اجرا نشدند، بلکه با حرکات قدرتی، جهشی و چندجهتی ترکیب شدند؛ رویکردی که احتمال انتقال سازگاری ها به حرکات واقعی فوتبال را افزایش می دهد.

استفن و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که بازیکنان جوانی که پایبندی بیشتری به برنامه عصبی عضلانی «فیفا ۱۱ پلاس» داشتند، در تعادل عملکردی پیشرفت بیشتری نشان دادند (Steffen et al., 2013). این نتیجه اهمیت استمرار تمرین و اجرای منظم برنامه را برجسته می کند. در پژوهش حاضر نیز تمرینات سه بار در هفته انجام شد و شرکت در حداقل ۸۰ درصد جلسات برای حضور در تحلیل نهایی الزامی بود؛ بنابراین، میزان مواجهه تمرینی مناسب احتمالاً در شکل گیری تغییرات تعادلی نقش داشته است.

در مقابل، زخ و همکاران (۲۰۱۴) پس از اجرای تمرینات عصبی عضلانی در ورزشکاران جوان هاکی، بهبود یکسانی را در تمام شاخص های تعادل مشاهده نکردند و اثر تمرین در برخی آزمون ها محدود بود (Zech et al., 2014). تفاوت میان نتایج ممکن است به ماهیت چندبعدی تعادل، نوع ورزش، سطح اولیه شرکت کنندگان، محتوای تمرین و ابزار اندازه گیری مربوط باشد. آزمون های مختلف تعادل الزاماً یک سازه کاملاً مشابه را ارزیابی نمی کنند و ممکن است یک برنامه در کنترل وضعیتی ایستا مؤثر باشد، اما در آزمون های دسترسی پویا یا واکنشی اثر کمتری ایجاد کند. در پژوهش حاضر، حضور تمرینات تک پا و چندجهتی و شباهت نسبی آنها با الزامات آزمون تعادل Y احتمالاً انتقال تمرینی بیشتری ایجاد کرده است. بنابراین، بهبود نمره آزمون تعادل Y را باید به عنوان بهبود کنترل وضعیتی پویا در شرایط همانند این آزمون تفسیر کرد و از تعمیم آن به تمام ابعاد تعادل خودداری نمود.

کاهش معنادار امتیاز خطای فرود نشان داد که بازیکنان گروه آزمایش پس از مداخله، تکلیف پرش و فرود را با خطاهای قابل مشاهده کمتری اجرا کردند. کاهش ۱۰۵۵ امتیازی در مقایسه با گروه کنترل از نظر عملکردی نیز قابل توجه است؛ زیرا امتیاز کمتر نشان دهنده کنترل بهتر تنه و اندام تحتانی، جذب مناسب تر نیرو و کاهش خطاهای حرکتی هنگام تماس با زمین است. برنامه حاضر علاوه بر تمرینات قدرتی و جهشی، آموزش مستقیم فرود، کنترل راستای زانو، ثبات تنه و خم شدن هماهنگ مفاصل ران، زانو و مچ پا را دربر داشت. ارائه بازخورد کلامی و اصلاح تکنیک نیز احتمالاً به بازیکنان کمک کرد تا الگوهای حرکتی مطلوب تر را فراگیرند و در آزمون نهایی به کار گیرند.

مایر و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تمرینات جامع عصبی عضلانی می تواند همزمان عملکرد ورزشی و برخی شاخص های بیومکانیکی اندام تحتانی را در ورزشکاران بهبود دهد (Myer et al., 2005). همسویی نتایج را می توان به حضور توأمان تمرینات قدرتی، تعادلی، جهشی و آموزش تکنیک نسبت داد. افزایش قدرت به تنهایی الزاماً موجب اصلاح

الگوی فرود نمی‌شود؛ اما هنگامی که ورزشکار هم‌زمان نحوه کنترل تنه، تنظیم راستای زانو و جذب نیرو را تمرین کند، احتمال انتقال تغییرات قدرتی به کیفیت حرکت بیشتر می‌شود.

ویلیامز و همکاران (۲۰۲۱) نیز در یک فراتحلیل گزارش کردند که برنامه‌های عصبی-عضلانی مبتنی بر وزن بدن می‌توانند کنترل حرکتی ورزشکاران جوان را بهبود دهند (Williams et al., 2021). یافته آنان از این تبیین حمایت می‌کند که تمرینات چندمؤلفه‌ای از طریق بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی و توانایی تنظیم حرکت، تعداد خطاهای قابل مشاهده در تکالیف پویا را کاهش می‌دهند.

در مقابل، دی‌استفانو و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که یک برنامه پیشگیری از آسیب اجرا شده در قالب گرم کردن، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین را کاهش داد، اما تغییر امتیاز خطای فرود در مقایسه با گروه کنترل معنادار نبود (DiStefano et al., 2016). تفاوت میان نتایج ممکن است به محتوای تمرین، مدت برنامه، ویژگی‌های نمونه و حساسیت شاخص‌های اندازه‌گیری مربوط باشد. ممکن است یک برنامه ابتدا متغیرهای پیوسته‌ای مانند نیروی عکس‌العمل زمین یا زاویه مفاصل را تغییر دهد، اما میزان تغییر به اندازه‌ای نباشد که در سامانه امتیازدهی خطای فرود، که بر مشاهده خطاهای مشخص استوار است، منعکس شود. در پژوهش حاضر، آموزش مستقیم و تکرار شونده تکنیک فرود و ارائه بازخورد اصلاحی احتمالاً تغییرات آشکارتری در الگوی حرکت ایجاد کرده است.

پادوا و همکاران (۲۰۰۹) سامانه امتیازدهی خطای فرود را ابزاری معتبر و پایا برای شناسایی الگوهای حرکتی بالقوه پرخطر هنگام پرش و فرود معرفی کردند (Padua et al., 2009). با این حال، کاهش امتیاز این آزمون را نباید معادل کاهش قطعی وقوع آسیب رباط متقاطع قدامی یا سایر آسیب‌های زانو دانست. در پژوهش حاضر، میزان آسیب طی یک فصل مسابقه‌ای پیگیری نشد و پیامد اصلی، کیفیت حرکت در یک تکلیف کنترل شده بود. بنابراین، تفسیر دقیق آن است که برنامه موجب بهبود مکانیک فرود و کاهش خطاهای حرکتی قابل مشاهده شد، نه اینکه کاهش واقعی میزان آسیب را به‌طور مستقیم اثبات کرده باشد.

تحلیل میانجی‌گری اکتشافی نشان داد که تغییرات تعادل پویا بخشی از ارتباط میان مداخله تمرینی و کاهش امتیاز خطای فرود را توضیح می‌دهد. از نظر حرکتی، این رابطه قابل قبول است؛ زیرا فرود مطلوب به کنترل سریع مرکز جرم، حفظ ثبات تنه، تنظیم راستای اندام تحتانی و پاسخ مناسب به نیروی تماس با زمین نیاز دارد. بازیکنی که کنترل وضعیتی بهتری دارد، احتمالاً می‌تواند نوسان‌های ناخواسته بدن را سریع‌تر مهار کرده و اندام تحتانی را هنگام فرود در وضعیت مناسب‌تری قرار دهد.

ویلیامز و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که تمرینات عصبی-عضلانی موجب بهبود شاخص‌های کنترل حرکتی در ورزشکاران جوان می‌شوند و این تغییرات می‌توانند در تکالیف پویایی مانند فرود و تغییر جهت نمود پیدا کنند (Williams et al., 2021). هم‌زمانی افزایش تعادل پویا و کاهش خطاهای فرود در پژوهش حاضر نیز با این دیدگاه سازگار است. با این حال، تعادل پویا احتمالاً تنها سازوکار مؤثر بر کیفیت فرود نیست. افزایش قدرت عضلات ران و تنه، هماهنگی بین عضلانی، زمان بندی فعالیت عضلات، بهبود حس عمقی و یادگیری تکنیک نیز ممکن است در تغییر الگوی فرود نقش داشته باشند، اما در پژوهش حاضر اندازه‌گیری نشدند. افزون بر این، حجم نمونه محدود و اندازه‌گیری متغیرها فقط در دو مقطع زمانی، امکان استنباط قطعی درباره رابطه علی را کاهش می‌دهد. از این رو، نتیجه میانجی‌گری باید به‌عنوان شواهد مقدماتی از یک مسیر احتمالی تفسیر شود.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که جایگزین کردن گرم کردن معمول با یک برنامه ۳۰ دقیقه‌ای، پیش‌رونده و چندمؤلفه‌ای می‌تواند راهکاری عملی برای ارتقای هم‌زمان عملکرد هوازی و کنترل عصبی-عضلانی بازیکنان جوان باشد. این موضوع برای مربیانی اهمیت دارد که در برنامه هفتگی تیم، زمان محدودی برای آماده‌سازی جسمانی، اصلاح حرکت و تمرینات پیشگیرانه در اختیار دارند. برنامه حاضر بدون افزودن یک جلسه مستقل، در ابتدای تمرینات معمول اجرا شد و از این نظر قابلیت استفاده در محیط واقعی فوتبال را دارد.

استایب و همکاران (۲۰۱۷) در فراتحلیل خود نشان دادند که اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی به میزان مواجهه تمرینی، فراوانی جلسات و تداوم اجرای برنامه وابسته است و اجرای منظم دو تا سه جلسه در هفته نتایج مطلوب‌تری ایجاد می‌کند (Steib et al., 2017). فراوانی سه جلسه در هفته و مجموع ۲۴ جلسه در پژوهش حاضر نیز احتمالاً فرصت کافی برای یادگیری و تثبیت الگوهای حرکتی فراهم کرده است. با این حال، اجرای برنامه نباید به تکرار مکانیکی مجموعه‌ای ثابت از حرکات محدود شود. پیشرفت تدریجی دشواری، تناسب تمرین با سطح بازیکن، نظارت بر تکنیک و ارائه بازخورد، اجزای اصلی اثربخشی برنامه هستند. همچنین، برای حفظ سازگاری‌های به دست آمده، مناسب است پس از پایان دوره اصلی، بخشی از تمرینات تعادلی، قدرتی و فرود در گرم کردن هفتگی بازیکنان ادامه یابد.

در نهایت نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرینات یکپارچه عصبی عضلانی، با فراوانی سه جلسه در هفته و به صورت جایگزین گرم کردن معمول تیم، می‌تواند چند جنبه مهم از آمادگی بازیکنان مرد فوتبال ۱۸ تا ۲۰ سال را به طور هم‌زمان بهبود دهد. افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی برآوردشده و کاهش ضربان قلب استراحت نشان داد که برنامه اجرا شده، با وجود تمرکز اصلی بر کنترل عصبی عضلانی، احتمالاً از بار متابولیکی کافی برای بهبود عملکرد هوازی میدانی نیز برخوردار بوده است. همچنین، افزایش تعادل پویا و کاهش امتیاز خطای فرود بیانگر آن بود که ترکیب تمرینات تعادلی، قدرتی، جهشی، کنترل فرود، کاهش سرعت و تغییر جهت می‌تواند توانایی بازیکنان را در حفظ ثبات بدن و اجرای مطلوب‌تر تکلیف فرود ارتقا دهد. تحلیل میانجی‌گری اکتشافی نیز نشان داد که بخشی از بهبود کیفیت فرود ممکن است از مسیر افزایش تعادل پویا حاصل شده باشد؛ هرچند به دلیل حجم نمونه محدود، این نتیجه نباید به عنوان اثبات یک رابطه علی قطعی تلقی شود. از نظر کاربردی، استفاده از این برنامه در ساختار گرم کردن می‌تواند برای مربیانی که با محدودیت زمان تمرین مواجه‌اند، راهکاری نسبتاً کم‌هزینه و قابل اجرا باشد؛ زیرا بدون نیاز به برگزاری جلسه‌ای مستقل، امکان توسعه هم‌زمان آمادگی جسمانی و کیفیت حرکت را فراهم می‌کند. پیشنهاد می‌شود مربیان برنامه را به صورت پیش‌رونده، با نظارت دقیق بر تکنیک و دست کم سه جلسه در هفته اجرا کنند و پس از دوره اصلی، یک برنامه نگهدارنده برای حفظ سازگاری‌ها در نظر بگیرند. با این حال، در تفسیر نتایج باید به دو محدودیت اصلی توجه شود. نخست، حداکثر اکسیژن مصرفی با آزمون میدانی کوپر برآورد شد و مستقیماً با دستگاه تحلیل گاز اندازه‌گیری نشد؛ بنابراین، بخشی از تغییر ممکن است متأثر از اقتصاد دویدن، راهبرد تنظیم سرعت یا آشنایی با آزمون باشد. دوم، پژوهش بر تعداد محدودی از بازیکنان مرد یک باشگاه انجام شد و کیفیت فرود نیز با تحلیل ویدئویی دوبعدی ارزیابی گردید؛ از این رو، تعمیم نتایج به بازیکنان زن، رده‌های سنی دیگر و سطوح متفاوت رقابتی باید با احتیاط انجام شود. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و چندمرکزی، اندازه‌گیری مستقیم شاخص‌های قلبی تنفسی، تحلیل سه‌بعدی حرکت و پیگیری واقعی میزان آسیب در طول فصل انجام شوند. بررسی ماندگاری آثار تمرین و مقایسه دوزهای متفاوت مداخله نیز می‌تواند شواهد دقیق‌تری برای طراحی برنامه‌های بلندمدت آماده‌سازی و پیشگیری از آسیب در فوتبال فراهم کند.

ملاحظات اخلاقی

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله مستخرج از پایان نامه به شکل زیر است:

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله.

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

تعارض منافع

بر اساس اظهارات نویسندگان، این مقاله تعارض منافی ندارد.

حامی مالی

بنابر اظهارات نویسندگان این پژوهش هیچگونه حامی مالی ندارد.

سپاسگزاری

از تمامی مشارکت کنندگان در این پژوهش سپاسگزاری می شود.

References

- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095–1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Cooper, K. H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake: Correlation between field and treadmill testing. *JAMA*, 203(3), 201–204. <https://doi.org/10.1001/jama.1968.03140030033008>
- DiStefano, L. J., Marshall, S. W., Padua, D. A., Peck, K. Y., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., Frank, B. S., Martinez, J. C., & Cameron, K. L. (2016). The effects of an injury prevention program on landing biomechanics over time. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(3), 767–776. <https://doi.org/10.1177/0363546515621270>
- Emery, C. A., Roy, T.-O., Whittaker, J. L., Nettel-Aguirre, A., & van Mechelen, W. (2015). Neuromuscular training injury prevention strategies in youth sport: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 865–870. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094639>
- Faude, O., Rössler, R., Petushek, E. J., Roth, R., Zahner, L., & Donath, L. (2017). Neuromuscular adaptations to multimodal injury prevention programs in youth sports: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Physiology*, 8, Article 791. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00791>
- Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Dos'Santos, T., Madruga, M., Oliva Lozano, J. M., Molina, A., Santalla, A., Requena, B., & Loturco, I. (2023). High-intensity actions in elite soccer: Current status and future perspectives. *International Journal of Sports Medicine*, 44(8), 535–544. <https://doi.org/10.1055/a-2013-1661>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115. <https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Gäbler, M., Prieske, O., Hortobágyi, T., & Granacher, U. (2018). The effects of concurrent strength and endurance training on physical fitness and athletic performance in youth: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, Article 1057. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01057>
- Hammami, R., Negra, Y., Nebigh, A., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Chaabene, H. (2023). Preseason integrative neuromuscular training improves selected measures of physical fitness in highly trained, youth, male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(6), e384–e390. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004394>
- Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-intensity acceleration and deceleration demands in elite team sports competitive match play: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Sports Medicine*, 49(12), 1923–1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>
- Hübscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L., & Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(3), 413–421. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b88d37>

- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Dvorak, J., Pellegrini, B., Schena, F., & Junge, A. (2013). Physiological and performance responses to the FIFA 11+ (part 2): A randomised controlled trial on the training effects. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1491–1502. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.802926>
- Kunz, P., Engel, F. A., Holmberg, H.-C., & Sperlich, B. (2019). A meta-comparison of the effects of high-intensity interval training to those of small-sided games and other training protocols on parameters related to the physiology and performance of youth soccer players. *Sports Medicine—Open*, 5(1), Article 7. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0180-5>
- López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Garcia-Gómez, A., Vera-Garcia, F. J., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Ayala, F. (2020). Epidemiology of injuries in professional football: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 54(12), 711–718. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>
- Lutz, D., van den Berg, C., Räisänen, A. M., Shill, I. J., Kim, J., Vaandering, K., Hayden, A., Pasanen, K., Schneider, K. J., Emery, C. A., & Owoeye, O. B. A. (2024). Best practices for the dissemination and implementation of neuromuscular training injury prevention warm-ups in youth team sport: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 58(11), 615–625. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106906>
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Chu, D. A., Falkel, J., Ford, K. R., Best, T. M., & Hewett, T. E. (2011). Integrative training for children and adolescents: Techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *The Physician and Sportsmedicine*, 39(1), 74–84. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.02.1864>
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 51–60. <https://doi.org/10.1519/13643.1>
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The Landing Error Scoring System as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 589–595. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.10>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., Jr., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40(3), 879–891. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.879>
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). Neuromuscular risk factors for knee and ankle ligament injuries in male youth soccer players. *Sports Medicine*, 46(8), 1059–1066. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0479-z>
- Robles-Palazón, F. J., Blázquez-Rincón, D., López-Valenciano, A., Comfort, P., López-López, J. A., & Ayala, F. (2024). A systematic review and network meta-analysis on the effectiveness of exercise-based interventions for reducing the injury incidence in youth team-sport players: Part 1: An analysis

- by classical training components. *Annals of Medicine*, 56(1), Article 2408457. <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2408457>
- Steffen, K., Emery, C. A., Romiti, M., Kang, J., Bizzini, M., Dvorak, J., Finch, C. F., & Meeuwisse, W. H. (2013). High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: A cluster randomised trial. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 794–802. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091886>
- Steib, S., Rahlf, A. L., Pfeifer, K., & Zech, A. (2017). Dose-response relationship of neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: A meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 8, Article 920. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00920>
- Williams, M. D., Ramirez-Campillo, R., Chaabene, H., & Moran, J. (2021). Neuromuscular training and motor control in youth athletes: A meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 128(5), 1975–1997. <https://doi.org/10.1177/00315125211029006>
- Zech, A., Klahn, P., Hoefl, J., zu Eulenburg, C., & Steib, S. (2014). Time course and dimensions of postural control changes following neuromuscular training in youth field hockey athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2), 395–403. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2786-5>