

## Changes in agility, speed, and fatigue index after seven days of L-arginine and L-citrulline supplementation in young soccer players

**Received:**

2025/11/22

**Accepted:**

2026/02/03

**Online ISSN**

3060-7078

**Maliheh Ardakanizadeh<sup>1</sup>**

1. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Human Sciences, Damghan University, Damghan, Iran.

**Abbas Sadeghi<sup>2</sup>**

2. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran.

**Ebrahim Rangraz<sup>3</sup>**

3. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Islamic Azad University, Buinzahra Branch, Buinzahra, Iran.

**Mehdi Namaki<sup>4</sup>**

4. Master's of Sport Physiology, Department of Sport Sciences, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran.

\*Correspondence:

Maliheh Ardakanizadeh

Email

maliheh\_ardakani@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0003-4992-9630>

### ABSTRACT

**Introduction:** Given the individual ergogenic effects of L-arginine and L-citrulline, it is possible that their combined supplementation may exert additive or synergistic effects on athletic performance. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of seven days of L-arginine and L-citrulline supplementation on agility, sprint performance, and fatigue index in young male soccer players.

**Materials and Methods:** In this randomized experimental study, sixty men aged 18–30 years were randomly assigned to four groups (n = 15 each): placebo, L-arginine, L-citrulline, and L-arginine + L-citrulline. For seven consecutive days, participants consumed either 2.4 g of L-arginine, 2.4 g of L-citrulline, or a combination of L-arginine (1.2 g) and L-citrulline (1.2 g) per day. Performance tests were conducted before and after the supplementation period. Agility was assessed using the 9 × 4 shuttle run test, sprint performance was evaluated using a 45-m sprint test, and fatigue index was determined using the Running-based Anaerobic Sprint Test (RAST). Data were analyzed using repeated-measures analysis of variance (ANOVA) followed by Bonferroni post hoc tests in SPSS version 24. The significance level was set at P < 0.05.

**Results:** After seven days of supplementation, significant improvements were observed in agility, sprint performance, and fatigue index in all three supplementation groups compared with their baseline values (P < 0.05). Furthermore, between-group comparisons revealed that all supplementation groups showed significantly greater improvements compared with the placebo group (P < 0.05). Notably, the combined supplementation group (L-arginine + L-citrulline) demonstrated significantly greater improvements in the measured performance indices compared with the L-arginine and L-citrulline groups administered individually (P < 0.05).

**Conclusion:** The findings of this study suggest that seven days of L-arginine and L-citrulline supplementation can improve agility, sprint performance, and fatigue index in young male soccer players. Moreover, the combined supplementation of these two amino acids appears to produce a synergistic effect, leading to greater improvements in performance-related indices compared with the consumption of each supplement alone.

**Keywords:** L-arginine, L-citrulline, Agility, Speed, Fatigue

## Extended Abstract

### Introduction:

L-arginine is classified as a semi-essential amino acid and plays an important role in several physiological processes, including the synthesis of proteins, urea, and polyamines (5). Another supplement that has been reported to reduce lactate accumulation is L-citrulline (LC), which is suggested to enhance muscular work capacity and strength during exercise. L-citrulline also serves as a precursor to L-arginine and may improve muscular power output by reducing hydrogen ion ( $H^+$ ) accumulation and enhancing aerobic metabolism. Suzuki et al. (2016) reported that the combined administration of L-arginine and L-citrulline increased plasma arginine concentrations more rapidly and effectively than either supplement alone. However, limited evidence is available regarding the independent or combined effects of these amino acids on specific physical fitness components in soccer players. Therefore, given the limited findings concerning the combined effects of these supplements, the present study was designed to investigate the potential synergistic effects of L-arginine and L-citrulline supplementation on speed, agility, and fatigue indices in young male soccer players.

### Methodology:

In this randomized experimental study, 60 young male soccer players aged 18–30 years were randomly assigned to four groups ( $n = 15$  each): placebo, L-arginine supplementation, L-citrulline supplementation, and combined L-arginine + L-citrulline supplementation. Agility was assessed using the  $9 \times 4$  shuttle run test. Sprint performance was evaluated using a 45-m sprint test. Anaerobic performance and fatigue index were assessed using the Running-based Anaerobic Sprint Test (RAST). In this test, peak power and minimum power were calculated in watts using the standard RAST formula based on body mass, sprint distance (35 m), and sprint time. The fatigue index was calculated as the difference between maximum and minimum power values divided by total sprint time. L-arginine and L-citrulline supplements were administered in tablet form at a dose of 2.4 g per day. In the combined supplementation group, participants consumed 1.2 g of L-arginine and 1.2 g of L-citrulline daily. Data were analyzed using mixed (within- and between-group) repeated-measures ANOVA followed by Bonferroni post hoc tests. All statistical analyses were performed using SPSS version 24, and statistical significance was set at  $P \leq 0.05$ .

### Results:

The results of the Bonferroni post hoc analysis showed that the combined supplementation group (L-arginine + L-citrulline) demonstrated significantly greater improvements in agility compared with the placebo, L-arginine, and L-citrulline groups. Additionally, the L-arginine and L-citrulline groups showed significantly better agility performance compared with the placebo group, with mean differences of 0.23 s and 0.25 s, respectively. Similarly, sprint performance improved significantly in the combined supplementation group compared with the placebo, L-arginine, and L-citrulline groups. Moreover, the L-arginine and L-citrulline groups showed significantly faster sprint times than the placebo group, with mean differences of 0.21 s and 0.22 s, respectively. Regarding fatigue index, the combined supplementation group demonstrated significantly lower fatigue values compared with the placebo group ( $7.42 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ ), the L-arginine group ( $4.13 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ ), and the L-citrulline group ( $4.68 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Furthermore, both the L-arginine and L-citrulline groups showed significantly lower fatigue indices compared with the placebo group, with mean differences of 3.29 and 2.73  $\text{W}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectively.

**Discussion:**

The findings of the present study demonstrated that supplementation with L-arginine, L-citrulline, and their combination improved agility, sprint performance, and fatigue indices compared with baseline values. Notably, the combined supplementation of these two amino acids produced greater improvements in these performance indicators compared with either supplement alone. Previous research has reported that six days of citrulline-malate supplementation can improve exercise performance, whereas L-arginine supplementation alone may not significantly affect performance outcomes. Consistent with the present findings, other studies have indicated that the combined intake of L-arginine and L-citrulline has a greater effect on athletic performance than the consumption of each supplement individually. This synergistic effect may be attributed to enhanced nitric oxide (NO) production and reduced arginase activity, which may improve endothelial function and blood flow. Furthermore, L-citrulline is not metabolized in the small intestine and therefore bypasses intestinal arginase metabolism, allowing for greater systemic availability of arginine. Consequently, the combined oral supplementation of L-arginine and L-citrulline may exert synergistic effects that enhance exercise performance more effectively than either supplement alone.

تغییرات چابکی، سرعت، و شاخص خستگی پس از مصرف هفت روز مکمل‌های ال آرژنین و ال سیترولین در فوتبالیست‌های جوان

چکیده	تاریخ ارسال:
	۱۴۰۴/۰۹/۰۱
	تاریخ پذیرش:
	۱۴۰۴/۱۱/۱۴
	شاپا الکترونیکی
	۳۰۶۰-۷۰۷۸
	ملیحه اردکانی زاده <sup>۱</sup>
	۱- استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران
	عباس صادقی <sup>۲</sup>
	۲- استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
	ابراهیم رنگرز <sup>۳</sup>
	۳- استادیار گروه علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوئین زهرا، بوئین زهرا، ایران
	مهدی نمکی <sup>۴</sup>
	۴- کارشناس ارشد گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
	* نویسنده مسئول: ملیحه اردکانی زاده ایمیل: maliheh_ardakani@yahoo.com <a href="https://orcid.org/0000-0003-4992-9630">https://orcid.org/0000-0003-4992-9630</a>
مقدمه:	
با توجه به تاثیرات جداگانه ال آرژنین و ال سیترولین، ممکن است که دوز ترکیبی این دو مکمل بر عملکرد ورزشکاران تاثیر فزاینده‌ای داشته باشد، لذا هدف از این مطالعه تغییرات چابکی، سرعت، و شاخص خستگی پس از مصرف هفت روز مکمل‌های ال آرژنین و ال سیترولین در فوتبالیست‌های جوان می‌باشد.	
روش تحقیق:	
تعداد ۶۰ مرد ۱۸_۳۰ ساله به‌طور تصادفی به چهار گروه (۱۵ نفری) دارونما، ال آرژنین، ال سیترولین، و ال آرژنین+ال سیترولین تقسیم شدند. به مدت هفت روز مکمل ال آرژنین ۲/۴ گرم، مکمل ال سیترولین ۲/۴ گرم، و ترکیبی (ال آرژنین+ال سیترولین) هر کدام ۱/۲ گرم به‌صورت روزانه مصرف می‌شد. پیش و پس از مصرف مکمل‌ها، شاخص چابکی توسط آزمون ۴×۹، سرعت با رکورد ۴۵ متر، و شاخص خستگی توسط آزمون RAST مورد سنجش قرار گرفتند. مقایسه داده‌ها به روش آنالیز واریانس مکرر با آزمون تعقیبی بونفرونی توسط SPSS نسخه ۲۴ انجام گردید، سطح معنی‌داری $P \leq 0/05$ در نظر گرفته شد.	
یافته‌ها:	
پس از مصرف هفت روز مکمل در سه گروه دریافتی، در مقایسه پیش و پس‌آزمون هر سه شاخص بهبود معنی‌داری مشاهده شد. همچنین، در مقایسه بین گروهی، گروه‌های مکمل در مقایسه با گروه دارونما اختلاف معناداری داشتند، که این اختلاف در گروه مکمل ترکیبی (ال آرژنین+ال سیترولین) در مقایسه با دو گروه ال آرژنین و ال سیترولین نیز معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ).	
نتیجه‌گیری:	
به نظر می‌رسد که مصرف هفت روزه مکمل‌های ال آرژنین و ال سیترولین در ارتقای رکوردهای چابکی، سرعت، و بهبود شاخص خستگی مردان جوان فوتبالیست تاثیر دارد، به‌طوری‌که با مصرف همزمان این دو مکمل اثر هم‌افزایی بر بهبود این شاخص‌ها مشاهده شد.	
واژگان کلیدی:	
ال آرژنین، ال سیترولین، چابکی، سرعت، خستگی	

## مقدمه:

ورزش فوتبال شامل فعالیت‌های متناوب با شدت بالا است، و این حرکات در این رشته پرتعداد همچون حرکات شتابی سریع، سرعت‌های تکراری، پرش‌ها و چابکی هستند (۱). از آنجایی که عوامل سرعت، و چابکی نقش مهمی در موفقیت بازیکنان فوتبال دارد، ارتقاء آمادگی جسمانی نقش مهمی در بهبود اجرای تکنیک و تاکتیک آن‌ها ایفاء می‌کند، در واقع، در مقایسه دو تیمی که توانایی‌های مهارتی و تاکتیکی یکسانی داشته باشند، تیمی برتری خواهد داشت که آهنگ بازی سریع‌تری داشته باشد، و نیز با گذشت زمان بازی دیرتر به واماندگی و خستگی برسد (۲). خستگی مهم‌ترین عامل بازدارنده فعالیت ورزشی است، که عوامل مهمی از جمله تجمع لاکتات عضله و خون در ایجاد آن دخیل هستند، که در صورت ادامه فعالیت ورزشی موجب کاهش سرعت و چابکی ورزشکار نیز می‌گردد. با افزایش شدت انقباضات عضلانی، خون‌رسانی بیشتر به بافت عضلانی توسط رگ‌گشاهای موضعی همچون نیتریک‌اکساید<sup>۱</sup> افزایش می‌یابد (۳). نیتریک‌اکساید گاز تولید شده توسط انواع سلول‌های بدن است، و در فرآیندهای فیزیولوژیکی و پاتوبیولوژیکی بسیاری مشارکت دارد، که توسط واکنش ال‌آرژنین<sup>۲</sup> (LA) با آنزیم نیتریک‌اکساید سنتتاز<sup>۳</sup> تولید می‌شود (۳). در همین راستا، چندین سال است که مکمل‌های خوراکی زیادی برای بهبود عملکرد ورزشی تولید شده است، و ادعا می‌شود که به بازیابی سریع‌تر ورزشکاران پس از فعالیت شدید و بی‌هوای کمک می‌نماید، یکی از این مکمل‌ها ال‌آرژنین است که تولید کنندگان آن مدعی هستند با افزایش تولید NO رگ‌گشایی را افزایش می‌دهد، به این معنی که NO از متابولیسم ال‌آرژنین به وجود می‌آید (۴). اگرچه ال‌آرژنین به‌عنوان یک اسیدآمین غیر ضروری طبقه‌بندی شده است، اما در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مهم همچون سنتز پروتئین‌ها، اوره، و پلی‌آمین نقش دارد، همچنین، LA به‌عنوان یک اسیدآمین آنتی-کاتابولیکی شناخته شده است، که در برخی مواقع برای مقابله با آسیب عضلانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). مشخص شده است که، تجمع لاکتات موجب افزایش یون هیدروژن<sup>۴</sup>، اسیدی شدن عضله و خستگی آن می‌شود؛ و بیان شده است یکی دیگر از مکمل‌هایی که در کاهش لاکتات تاثیر دارد، مکمل یاری ال‌سیترولین<sup>۵</sup> (LC) است، که ادعای افزایش توانایی کار عضله و قدرت عضله را هنگام فعالیت ورزشی دارد (۶). اسیدآمین ال‌سیترولین پیش‌ساز اسیدآمین ال‌آرژنین نیز به‌شمار می‌رود، که با کاهش سطوح H<sup>+</sup> و افزایش متابولیسم هوایی، منجر به بهبود برون‌ده توان عضلانی می‌گردد (۷). گزارش شده است که مکمل-سازی هفت روزه LC عملکرد آزمون تایم‌تریل (کاهش زمان رسیدن به خط پایان) را در دوچرخه‌سواران بهبود بخشیده است (۸)، با این حال، در مطالعه دیگری دریافت LC بر افزایش زمان رسیدن به خستگی حین دویدن بر روی نوارگردان نداشته است (۹). با توجه به یافته‌ها، آرژنین سوبسترای منحصر به فرد و یگانه آنزیم NOS و پیش‌ساز سنتز NO است، پژوهشگران بیان داشته‌اند که افزایش NO در گردش خون در اثر مکمل‌سازی LA یا LC موجب بهبود عملکرد هوایی (اکسیژن مصرفی بیشینه) از طریق کاهش فشار خون سیستولی، افزایش اتساع عروقی و جریان خون موضعی می‌شود، که نقش مهمی در موفقیت ورزشی و بازیابی در وهله‌های فعالیت ورزشی دارد (۱۰)، با این حال عدم افزایش عملکرد ورزشی پس از این مکمل‌ها نیز گزارش شده است (۱۱). با توجه به اثرات مشابه این دو مکمل، مطالعات مشابهی به بررسی تاثیرات آن‌ها پرداخته‌اند، هرچند تغییرات عملکرد ورزشی در این مطالعات مورد سنجش قرار نگرفته است، همچون مطالعه سوزوکی و دیگران (۲۰۱۶) که اعلام داشتند مصرف همزمان ال‌آرژنین و ال‌سیترولین سطوح آرژنین پلاسما را سریع‌تر و موثرتر افزایش می‌دهند (۱۲)، اما اثر بخشی جداگانه یا هم‌زمان این

1. Nitric Oxide, NO

2. L-Arginine, LA

3. Nitric Oxide Synthetase, NOS

4. H<sup>+</sup>

5. L-Citrulline, LC

دو اسیدآمین به خصوصاً بر برخی عوامل آمادگی جسمانی بازیکنان فوتبال یافت نشد. از این رو با توجه به محدود بودن نتایج در رابطه با اثر ترکیبی این دو مکمل، شناسایی اثر هم‌افزایی احتمالی آن‌ها بر تغییرات سرعت، چابکی و خستگی فوتبالیست‌های جوان طراحی گردید و به اجرا درآمد.

### روش تحقیق:

پژوهش حاضر، با توجه به اهداف پیش بینی شده، از نوع تحقیقات نیمه تجربی بود. طرح تحقیق به صورت پیش‌آزمون - پس‌آزمون با سه گروه تجربی و یک گروه کنترل (دارونما) بود. همچنین با توجه به طول زمان اجرای تحقیق از نوع مقطعی و به لحاظ استفاده از نتایج بدست آمده، کاربردی بود، که با کد IR.QUMS.REC.1401.184 از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی قزوین به تصویب رسید. در این پژوهش، مقایسه تاثیر مصرف کوتاه مدت به تنهایی و ترکیبی از مکمل‌های ال‌آرژنین و ال‌سیتروولین بر چابکی، سرعت و شاخص خستگی فوتبالیست‌های جوان انجام گردیده است. از بین بیش از ۱۰۰ داوطلب شرکت کننده در کلاس‌های مدرسه فوتبال و آکادمی ستاره سرخ شهر اشتهارد، و با توجه به شرایط ورود و خروج از مطالعه ۶۰ فوتبالیست جوان مرد با دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال که به صورت در دسترس حاضر به همکاری و مشارکت داوطلبانه در تحقیق حاضر بودند، انتخاب شدند، و پس از پر کردن فرم‌های رضایت آگاهانه، و سابقه پزشکی و فعالیت بدنی، به صورت تصادفی در چهار گروه ۱۵ نفری دارونما، مکمل ال‌آرژنین، مکمل ال‌سیتروولین، ترکیبی از مکمل ال‌آرژنین و ال‌سیتروولین قرار گرفتند. شرایط ورود به مطالعه شامل ۱. جنسیت مذکر، ۲. سن بین ۱۸ تا ۳۰ سال، ۳. عضویت شش ماهه در آکادمی و مدرسه فوتبال ستاره سرخ شهر اشتهارد، ۴. عدم مصرف سیگار، ۵. عدم ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی، فشار خون بالا، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های عضلانی و اسکلتی، و ۶. عدم ابتلا به بیماری‌ها و مشکلات مفصلی بود. جهت اندازه‌گیری وزن، از آزمودنی‌ها درخواست شد که بدون کفش و با لباس‌های نازک و راحت بدون حرکت و در حال حبس نفس معمولی روی ترازو قرار بگیرند و سپس آزمونگر وزن فرد را از روی پروتکت ثبت نمود. برای اندازه‌گیری قد، آزمودنی‌ها بدون کفش با قامتی کاملاً کشیده پشت به دیوار و متر ایستادند. سپس خط کش قدسنج به صورت موازی با زمین و مماس با سر آزمودنی قرار داده شد، اندازه قد به سانتیمتر ثبت گردید (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک فوتبالیست‌های جوان (میانگن  $\pm$  انحراف معیار)

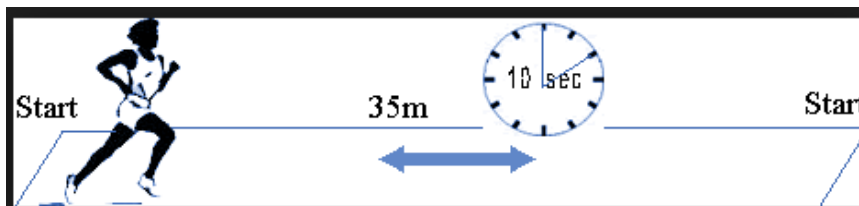
Table 1. Demographic Characteristics of Young Football Players (Mean $\pm$ Standard Deviation)			
وزن (کیلوگرم)	قد (سانتیمتر)	سن (سال)	گروه (N=15)
Weight (kg)	Height (cm)	Age (years)	Group
75.46 $\pm$ 8.87	183.73 $\pm$ 7.54	24.00 $\pm$ 3.72	دارونما Placebo
76.73 $\pm$ 6.86	184.06 $\pm$ 7.14	24.20 $\pm$ 3.58	مکمل ال‌آرژنین L-Arginine Supplement
74.00 $\pm$ 8.15	185.40 $\pm$ 6.45	24.86 $\pm$ 4.67	مکمل ال‌سیتروولین L-Citrulline Supplement
78.20 $\pm$ 7.96	183.00 $\pm$ 7.76	23.93 $\pm$ 3.53	مکمل ال‌آرژنین + ال‌سیتروولین L-Arginine + L-Citrulline Supplement

## اندازه‌گیری شاخص‌ها

برای اندازه‌گیری شاخص چابکی از تست  $9 \times 4$  متر رفت و برگشت استفاده شد. در روش اجرا دو خط موازی به فاصله نه متر مشخص شد، آزمودنی با صدای سوت حرکت کرده با سرعت و چوب‌ها رو جابجا نمود، و مسیر نه متری را چهار بار دوید، و زمان وی توسط کرنومتر محاسبه گردید (۱۳).

برای اندازه‌گیری سرعت از آزمون ۴۵ متر یا ۵۰ یارد استفاده شد، این آزمون اصلاح شده آزمون مارگاریا و کالامن بود که آقای کالامن برای حذف وسایل گران قیمت آزمون مارگاریا و کالامن بر روی پله با رابطه بالای  $r=0/974$  ابداع نمود. این آزمون با ثبت رکورد زمانی توان بی‌هوازی شخص را با ثبت کمترین زمان برآورد می‌کند. برای اجرا افراد ۳ تلاش انجام می‌دادند، که زمان هر تلاش به وسیله کرنومتر دستی (با دقت  $0/01$  ثانیه) ثبت و بهترین رکورد برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. قابل ذکر است این آزمون در پیست دومیدانی کنار زمین فوتبال اجرا گردید، و بین هر تکرار ۳ الی ۴ دقیقه استراحت برای ریکاوری کامل در نظر گرفته شد (۱۴).

برای انجام عملکرد بی‌هوازی از پروتکل تمرینی RAST استفاده گردید. این پروتکل شامل شش مرحله ۳۵ متر دویدن با حداکثر سرعت با ۱۰ ثانیه استراحت بین هر مرحله بود (۱۵) (شکل ۱).



شکل ۱. نمای شماتیک اجرای پروتکل تمرینی RAST

حداقل توان بی‌هوازی، کمترین مقدار عددی حاصل از اجرای آزمون RAST، بر حسب وات، با استفاده از رابطه وزن ضرب در نسبت مربع مسافت طی شده بر مکعب زمان سپری شده در مسافت ۳۵ متر است. توان بیشینه یا اوج توان فرد با استفاده از بیشترین مقدار عددی حاصل از اجرای آزمون RAST، بر حسب وات، به دست آمد. برای این کار از رابطه نسبت مربع مسافت طی شده بر مکعب زمان سپری شده برای طی کردن مسافت ۳۵ متر استفاده شد. شاخص خستگی از تفاضل توان بیشینه از توان حداقل تقسیم بر زمان کل شش بار دویدن مسافت ۳۵ متر در آزمون RAST به دست آمد که بر حسب وات بر ثانیه محاسبه شد. در واقع در روش ارزیابی شاخص خستگی هر فرد، اوج توان، توان حداقل و کل زمان سپری شده در اجرای آزمون RAST مورد توجه قرار گرفت (۱۵).

## مصرف مکمل‌ها

مکمل آل‌آرژنین مورد استفاده، محصول شرکت نیچر ساخت کشور آمریکا بود که از مرکز پویان طب تهیه گردید. شایان ذکر است که طول دوره مصرف مکمل آل‌آرژنین و نیز میزان مصرف این مکمل، کمتر از سه گرم در روز برای بیماران و افراد عادی توصیه شده است، که در مطالعه حاضر مکمل آل‌آرژنین به صورت قرص و به دوز  $2/4$  گرم بود. مکمل ال‌سیترولین مورد استفاده، محصول شرکت شوچی - میتسوبیشی ساخت کشور ژاپن بود که از مرکز پویان طب تهیه گردید. در مطالعه حاضر مکمل ال - سیترولین به صورت قرص و به دوز  $2/4$  گرم بود. مکمل ترکیبی (آل‌آرژنین + ال‌سیترولین): در مطالعه حاضر در گروه ترکیبی هر یک از مکمل‌ها به میزان  $1/2$  گرم مصرف شد. زمان مصرف مکمل‌ها در ساعت ۱۰ صبح بود (۱۶).

## روش گردآوری اطلاعات

پیش از شروع آزمون‌ها تمام آزمودنی‌ها در حالت ۱۲ ساعت ناشتا به طوری که در ۲۴ ساعت قبل فعالیت بدنی شدید نداشتند، به همه آزمودنی‌ها توصیه شد که چنانچه تغییر تغذیه‌ای در برنامه غذایی می‌دهند اعلام کنند. به علاوه، آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت قبل از انجام آزمون، از انجام هرگونه فعالیت بدنی اجتناب داشته و وعده غذایی (صبحانه) آن‌ها قبل از آزمون مشابه (صبحانه ایزوکالریک) بود. در پیش آزمون شرکت کنندگان به اجرای آزمون دوی ۴۵ متر و RAST، دوی ۹×۴ متر تست چابکی پرداختند. سپس دوره مصرف مکمل به مدت هفت روز شروع شد، و ۲۴ ساعت پس از دوره مصرف در مرحله پس آزمون مجدداً آزمون سرعت ۴۵ متر، خستگی RAST، و تست چابکی از شرکت کنندگان گرفته شد.

## روش آماری

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی استفاده شد. از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها استفاده شد. از آزمون لون برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد. به منظور بررسی اثر مصرف مکمل بر شاخص‌های چابکی، سرعت و خستگی در فوتبالیست‌های جوان، از طرح تحقیق درون گروهی و بین گروهی استفاده شد. برای این منظور، یک متغیر درون گروهی به نام زمان (شامل پیش آزمون و پس آزمون) و یک متغیر گروه (شامل دارونما و گروه‌های مکمل) در تحقیق وارد شد. لذا از آزمون آماری تحلیل واریانس مکرر با عامل درون گروهی و بین گروهی به منظور بررسی تفاوت احتمالی بین زمان و گروه‌های مختلف استفاده شد، و برای تعیین تفاوت بین مراحل مختلف شاخص‌ها آزمون تعقیبی بونفرونی به کار گرفته شد. تمامی محاسبات با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری  $P \leq 0.05$  انجام گرفت.

## یافته‌ها:

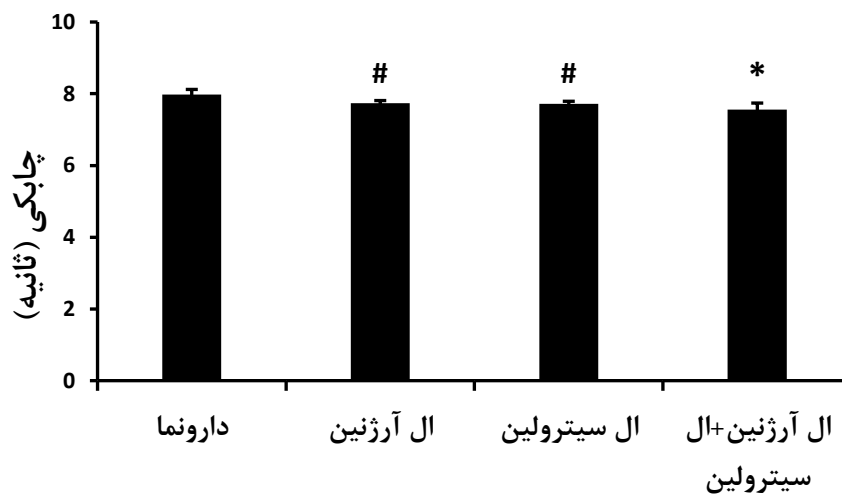
آزمون لوین برای هیچ‌یک از گروه‌ها و مراحل آزمون مقادیر تست چابکی، سرعت و خستگی در فوتبالیست‌های جوان معنی‌دار نبود، که نشان از وجود تجانس واریانس در بین گروه‌ها و مراحل دوگانه اندازه‌گیری دارد. نتایج آزمون تحلیل واریانس مکرر تعامل معنی‌داری بین متغیرهای گروه و مراحل اندازه‌گیری (پیش آزمون و پس آزمون) نشان داد ( $F=30.0189$ ,  $Sig=0.000$ ). نظر به این‌که تعامل بین گروه و مراحل اندازه‌گیری معنی‌دار بوده است، می‌توان دریافت که اثر مصرف مکمل بر شاخص‌های چابکی، سرعت و خستگی در دو مرحله اندازه‌گیری بین گروه‌های دارونما و مکمل متفاوت بوده است. به همین منظور پس از اجرای تست بونفرونی مشاهده شد که زمان (ثانیه) آزمون ۴×۹ چابکی ( $Sig=0.000$ ) با اندازه اثر ۰/۶۱، زمان (ثانیه) در آزمون ۴۵ متر سرعت ( $Sig=0.000$ ) با اندازه اثر ۰/۲۸، و شاخص خستگی ( $Sig=0.000$ ) با اندازه اثر ۰/۳۶ در مقایسه با پیش از مصرف مکمل‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج مقادیر آزمون‌های چابکی (ثانیه)، سرعت (ثانیه) و خستگی (وات/ثانیه)، پیش و پس از مصرف هفت روز مکمل ال آرژنین و ال سیتروولین، به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار، \* : تفاوت معنی‌دار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر گروه  $P \leq 0.05$

Table 2. Results of Agility (s), Speed (s), and Fatigue (W/s) Tests Before and After Seven Days of L-Arginine and L-Citrulline Supplementation (Mean  $\pm$  Standard Deviation). : Significant difference between pre-test and post-test within each group ( $P \leq 0.05$ ).

مقایسه	چابکی (ثانیه)	سرعت (ثانیه)	خستگی (وات/ثانیه)	گروه‌ها (N=15)
Comparison	Agility (s)	Speed (s)	Fatigue (W/s)	
پیش Pre	7.90 $\pm$ 0.19	6.42 $\pm$ 0.20	43.80 $\pm$ 3.09	ال آرژنین (۲/۴ گرم) L-Arginine (2.4 g)
پس Post	7.74 $\pm$ 0.07	6.19 $\pm$ 0.18	40.33 $\pm$ 3.79	
Sig	0.006*	0.001*	0.013*	
پیش Pre	7.90 $\pm$ 0.16	6.43 $\pm$ 0.20	43.93 $\pm$ 2.96	ال سیتروولین (۲/۴ گرم) L-Citrulline (2.4 g)
پس Post	7.72 $\pm$ 0.07	6.20 $\pm$ 0.17	40.86 $\pm$ 3.06	
Sig	0.001*	0.007*	0.036*	
پیش Pre	7.96 $\pm$ 0.18	6.41 $\pm$ 0.23	42.60 $\pm$ 3.18	ال آرژنین (۱/۲ گرم) + ال سیتروولین (۱/۲ گرم) L-Arginine (1.2 g) + L-Citrulline (1.2 g)
پس Post	7.56 $\pm$ 0.18	6.05 $\pm$ 0.16	36.40 $\pm$ 3.68	
Sig	0.001*	0.001*	0.002*	

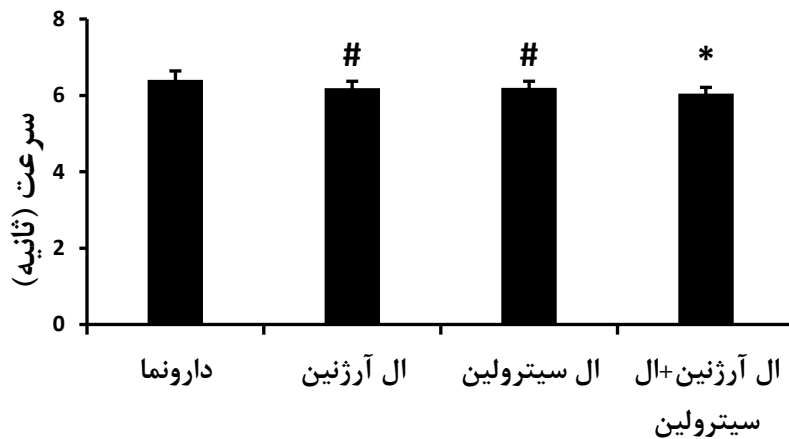
پس از اجرای آزمون تعقیبی بونفرونی مشاهده شد که گروه مکمل ال آرژنین  $\pm$  ال سیتروولین با اختلاف میانگین در مقایسه با گروه دارونما ۰/۴۲ ثانیه ( $P=0/001$ )، گروه ال آرژنین ۰/۱۹ ثانیه ( $P=0/001$ )، و گروه ال سیتروولین ۰/۱۷ ثانیه ( $P=0/003$ )، به طور معنی‌داری چابکی بهتری داشته است. همچنین، گروه‌های مصرف ال آرژنین و ال سیتروولین در مقایسه با گروه دارونما به ترتیب با اختلاف میانگین ۰/۲۳ و ۰/۲۵ ثانیه به طور معنی‌داری چابکی بهتری داشته‌اند ( $P=0/001$ ). اما بین گروه‌های مصرف کوتاه مدت مکمل ال آرژنین و ال سیتروولین در چابکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ( $P>0/05$ ) (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه آزمون چابکی ۹×۴ (ثانیه) در گروه‌های دارونما و مکمل پس از هفت روز مصرف مکمل ال آرژنین و ال

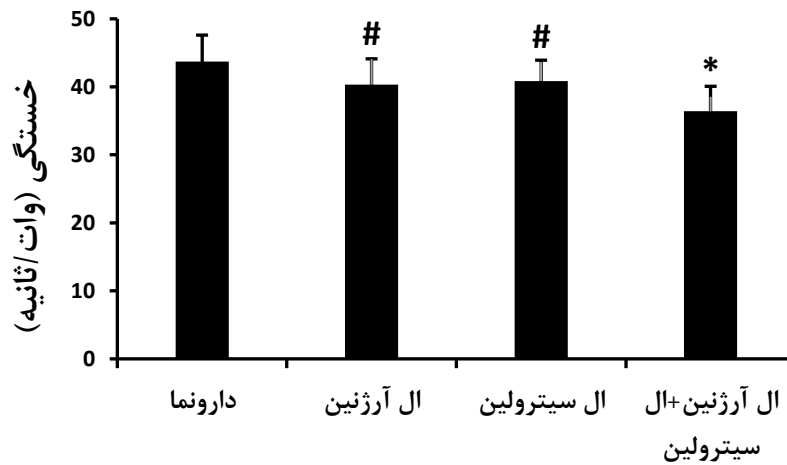
سیترولین (۲/۴ گرم)، #: نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=0/001$ ، #: نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=0/001$ ، و با گروه ال‌سیترولین  $P=0/003$

پس از اجرای آزمون تعقیبی بونفرونی مشاهده شد که گروه مکمل ال‌آرژنین  $\pm$  ال‌سیترولین با اختلاف میانگین در مقایسه با گروه دارونما  $0/31$  ثانیه ( $P=0/001$ )، گروه ال‌آرژنین  $0/15$  ثانیه ( $P=0/04$ )، و گروه ال‌سیترولین  $0/15$  ثانیه ( $P=0/04$ )، به‌طور معنی‌داری سرعت بهتری داشته است. همچنین، گروه‌های مصرف ال‌آرژنین و ال‌سیترولین در مقایسه با گروه دارونما به ترتیب با اختلاف میانگین  $0/21$  و  $0/22$  ثانیه به‌طور معنی‌داری سرعت بهتری داشته‌اند ( $P=0/02$ ). اما بین گروه‌های مصرف کوتاه مدت مکمل ال‌آرژنین و ال‌سیترولین در سرعت تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ( $P>0/05$ ) (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه آزمون ۴۵ متر سرعت (ثانیه) در گروه‌های دارونما و مکمل پس از هفت روز مصرف مکمل ال‌آرژنین و ال‌سیترولین (۲/۴ گرم)، #: نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=0/001$ ، #: نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=0/002$ ، #: نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=0/001$ ، با گروه ال‌آرژنین  $P=0/04$ ، و با گروه ال‌سیترولین  $P=0/04$

پس از اجرای آزمون تعقیبی بونفرونی مشاهده شد که گروه مکمل ال‌آرژنین  $\pm$  ال‌سیترولین با اختلاف میانگین در مقایسه با گروه دارونما  $7/42$  وات/ثانیه ( $P=0/001$ )، گروه ال‌آرژنین  $4/13$  وات/ثانیه ( $P=0/01$ )، و گروه ال‌سیترولین  $4/68$  وات/ثانیه ( $P=0/005$ )، به‌طور معنی‌داری خستگی کمتری داشته است. همچنین، گروه‌های مصرف ال‌آرژنین و ال‌سیترولین در مقایسه با گروه دارونما به ترتیب با اختلاف میانگین  $3/29$  و  $2/73$  وات/ثانیه، به‌طور معنی‌داری خستگی کمتری داشته‌اند ( $P=0/001$ ). اما بین گروه‌های مصرف کوتاه مدت مکمل ال‌آرژنین و ال‌سیترولین در شاخص خستگی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ( $P>0/05$ ) (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه شاخص خستگی (وات/ثانیه) در گروه‌های دارونما و مکمل پس از هفت روز مصرف مکمل ال آرژینین و ال سیترولین (۲/۴ گرم)، # نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=+ / + 01$ ، \* نشانه کاهش معنی‌دار در مقایسه با گروه دارونما  $P=+ / + 01$ ، با گروه ال آرژینین  $P=+ / + 01$ ، و با گروه ال سیترولین  $P=+ / + 05$

#### بحث:

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، مشاهده شد که مکمل یاری هر کدام ال آرژینین (۲/۴ گرم)، ال سیترولین (۲/۴ گرم)، و ال آرژینین+ال سیترولین (۱/۲+۱/۲ گرم) به مدت هفت روز موجب بهبود شاخص‌های چابکی، سرعت و شاخص خستگی در مقایسه با پیش از مصرف گردیده است. همچنین هنگام مقایسه بین گروه‌های مکمل و دارونما نیز مشاهده شد که مصرف ال آرژینین و ال سیترولین در مقایسه با گروه دارونما اثر بخش بوده است، به طوری که مصرف ترکیبی و همزمان این دو مکمل تاثیر مضاعفی در مقایسه با سه گروه دیگر بر شاخص‌های مذکور داشته است. در این راستا گزارش شده است که مکمل سازی شش روزه سیترولین-مالات منجر به بهبود عملکرد ورزشی می‌گردد، در حالی که مکمل ال آرژینین تاثیری بر روی عملکرد نداشته است (۱۷). اما در مطالعه‌ای بیان شده است که مصرف مکمل LA باعث بهبود عملکرد ورزشی در مقایسه با گروه دارونما می‌گردد (۱۸). ال آرژینین به طور معمول، ۷-۵ درصد از کل اسیدهای آمینه رژیم غذایی طبیعی انسان را تشکیل می‌دهد، و با جذب شدن آن در بخش‌هایی از روده کوچک برای اهدافی همچون سنتز پروتئین، ترمیم بافت‌ها و تامین سلول‌های ایمنی به کار می‌رود، به علاوه، آرژینین از طریق جذب آمونیم و تولید اوره، سمیت سلول را کاهش می‌دهد، باعث بهبود پاسخ ایمنی و افزایش رهاش هورمون رشد و شبه انسولین می‌گردد، و نیز با حفظ توده بدون چربی بدن، ظرفیت عملکردی افراد را بهبود می‌بخشد (۱۹). از سوی دیگری، مشاهده شده است که مکمل سازی ال آرژینین احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، کاهش استرس اکسیداتیو و مقادیر پراکسیداسیون لیپید، مانع از نشت اکسیدان به گردش خون می‌گردد (۲۰).

علاوه بر اثرات مثبت LA بر مکانیسم‌های بهبود عملکرد فعالیت ورزشی، سیترولین نیز به عنوان یک مکمل اثرگذار طی اجرای فعالیت ورزشی در رشته‌های مختلف ورزشی، مورد علاقه بسیاری از ورزشکاران قرار گرفته است. ال سیترولین یک آمینواسید غیر ضروری است، که در صورت ترکیب با مالات ظرفیت اجرا را در تکرار ست‌های تمرینی تا مرز خستگی افزایش می‌دهد (۲۱). بر این اساس، مطالعه بر روی انسان و برخی حیوانات نشان داده است که در صورت بروز خستگی، نیرو، سرعت و توان کاهش می‌یابد، و چون اوج توان، ترکیبی از نیرو و سرعت است، به میزان زیادی تحت تاثیر خستگی قرار می‌گیرد، برخی مطالعات عنوان داشته‌اند که پس از اجرای تمرینات متناوب و خستگی عضلانی، مصرف ال سیترولین به منظور بهبود عملکرد و رفع خستگی تاثیر

مفیدی دارد (۲۲)، و پیشنهاد شده است ال‌سیتروپولین در جایگاه یک کنشگر واسط از چرخه سیتریک‌اسید می‌تواند برای رفع خستگی‌های مزمن و گرفتگی عضلانی مصرف شود (۲۳).

بر همین اساس عنوان شده است که مصرف حاد ال‌سیتروپولین باعث افزایش سطوح ال‌سیتروپولین/ال‌آرژنین و NO پلاسما در مقایسه با گروه دارونما می‌شود (۲۴). در راستای این نتایج و در رابطه با اثرات سیتروپولین، نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده‌اند که در وهله اول؛ سیتروپولین مالات با تبدیل شدن به ال‌آرژنین و سپس افزایش سطوح NO موجب اتساع عروقی، افزایش جریان خون عضلانی گردیده، که باعث افزایش دسترسی عضلات و دیگر بافت‌ها به اکسیژن و مواد مغزی و دفع مواد زاید می‌شود، از سوی دیگری، سیتروپولین مالات با افزایش کلیرانس آمونیم از طریق چرخه اوره، تجمع آمونیم تولیدی را کاهش می‌دهد، این امر موجب کاهش متابولیسم بی‌هوازی و به دنبال آن کاهش تولید و تجمع لاکتات می‌گردد. همچنین، مالات (میانجی چرخه کربس) قادر به بهبود ظرفیت هوازی، افزایش عملکرد هوازی و به تاخیر انداختن خستگی است (۲۵).

گزارش شده است که برخلاف ال‌آرژنین، ال‌سیتروپولین در متابولیسم کبد درگیر نشده، و توسط آنزیم‌های آرژیناز نیز نخریب نمی‌شود، این امر یک برتری بر افزایش NO در مقایسه با ال‌آرژنین دارد (۲۶). با توجه به این برتری سیتروپولین نه تنها با ممانعت کاتابولیسم آرژنین (در محور روده‌ای-کبدی) مقادیر سیستمیک آرژنین را افزایش می‌دهد، بلکه به عنوان یک مهار کننده آلوستریک آرژیناز نیز عمل می‌کند تا اینکه دسترسی زیستی به آرژنین را هم افزایش بخشد (۲۷). هم‌سو با یافته‌های پژوهش حاضر، مشاهده شده است که مصرف ترکیبی LA و LC در مقایسه با مصرف جداگانه، تاثیر بیشتری بر عملکرد فوتبالیست‌های جوان داشته است، که پیشنهاد شده است مصرف همزمان LA و CL ممکن است ظرفیت اندوتلیال را برای تولید NO تغییر، و سطوح آرژیناز را کاهش دهد (۲۸). علاوه بر این، سیتروپولین در روده کوچک متابولیزه نمی‌شود، و به این صورت مانع از تخریب آرژنین توسط آرژیناز می‌شود، بنابراین، مصرف LA+LC خوراکی در مقایسه با مصرف هر یک به تنهایی اثر هم‌افزایی بر بهبود عملکردهای ورزشی دارند. در رابطه با مکانیسم احتمالی عنوان شده است که سرکوب آرژیناز به واسطه سیتروپولین، منجر به بهبود دسترسی آرژنین می‌گردد، هرچند در یک مطالعه پس از مصرف هفته روزه LA+LC (ورزشکاران جوان با دوز ۲/۴ گرم) سطوح آرژنین افزایش (۱۶)، و در مطالعه دیگری (مردان چاق با دوز ۲ گرم) عدم افزایش مشاهده شد (۲۹)، که دلیل این نتیجه متناقض می‌تواند تفاوت در آزمودنی‌ها و دوز مصرفی آن‌ها باشد. در مطالعه حاضر هرچند که سطوح NO اندازه‌گیری نشد، اما در مجموع مطالعات تایید کرده‌اند که مصرف مکمل ترکیبی LA+LC به‌طور بالقوه، غلظت ال‌آرژنین پلاسما را افزایش می‌دهد، که به سرعت قابلیت فراهمی NO را نیز می‌افزاید. در رابطه با مکانیسم احتمالی آن می‌توان بیان داشت که ال‌آرژنین از یک سو موجب کاهش سطوح لاکتات و آمونیاک، و از سوی دیگری موجب افزایش غلظت ال‌سیتروپولین پلاسما در طول ورزش هوازی می‌شود، که احتمالاً با تولید NO در نهایت موجب به تعویق انداختن خستگی ورزشی می‌گردد (۳۰).

### نتیجه‌گیری:

در مجموع به نظر می‌رسد که مصرف جداگانه و همزمان مکمل‌های ال‌آرژنین و ال‌سیتروپولین می‌تواند عملکردهای ورزشی همچون چابکی و سرعت را ارتقاء دهد، و خستگی را نیز به تعویق بیندازد، هرچند مطالعات با دوزها و آزمودنی‌های متفاوت وجود داشت، اما دوز ۲/۴ گرم پس از هفت روز مصرف خوراکی تاثیر معنی‌داری بر فوتبالیست‌های جوان داشت، به‌طوری‌که در گروهی که مکمل ترکیبی ال‌آرژنین+ال‌سیتروپولین (۱/۲+۱/۲) مصرف می‌کرد، در مقایسه با هر سه گروه تفاوت معناداری مشاهده شد. از محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم اندازه‌گیری شاخص‌های موثری همچون سطوح پلاسمایی NO، آرژنین، سیتروپولین و فعالیت آنزیم آرژیناز بود، که پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی مورد مطالعه قرار بگیرد.

## تضاد منافع

مؤلفان اعلام می‌کنند که این اثر، حاصل یک پژوهش مستقل بوده و هیچ تضاد منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

## تشکر و قدردانی:

از همه کسانی که در پژوهش حاضر ما را یاری رساندند، کمال تشکر را داریم.

## منابع:

1. Monazzami A, Monazzami S, Hematfar A, Monazzami A. Acute Effects of Static, ballistic and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF) Stretching on vertical jump and Agility and fifty-meter sprint performance in Youth Soccer Players. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2018;6(12):35-46. [In Persian].
2. Alizadeh r, nourshahi m. The effect of three different training programs on selected physical fitness factors in amateur soccer players. 2009. [In Persian].
3. McConell GK. Effects of L-arginine supplementation on exercise metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2007;10(1):46-51.
4. Fitts RH, Balog EM. Effect of intracellular and extracellular ion changes on E-C coupling and skeletal muscle fatigue. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1996;156(3):169-81.
5. Shakib A, Vakili J. Effect of one-week supplementation of Citrulline-malate, L-arginine and their combination on CK, LDH and CRP levels in male wrestlers following simulated wrestling test. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2021;43(2):201-8. [In Persian].
6. Rougé C, Des Robert C, Robins A, Le Bacquer O, Volteau C, De La Cochetiere M-F, et al. Manipulation of citrulline availability in humans. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*. 2007;293(5):G1061-G7.
7. Amirsasn R, Shakib A, Vakili J. Effect of one-week supplementation of Citrulline-Malate, L-arginine and their combination on metabolic stress and performance in male wrestlers. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2020;8(16):20-32. [In Persian].
8. Cunniffe B, Papageorgiou M, O'Brien B, Davies NA, Grimble GK, Cardinale M. Acute citrulline-malate supplementation and high-intensity cycling performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2016;30(9):2638-47.
9. Cutrufello PT, Gadowski SJ, Zavorsky GS. The effect of L-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance. *Journal of Sports Sciences*. 2015;33(14):1459-66.
10. Dreißigacker U, Wendt M, Wittke T, Tsikas D, Maassen N. Positive correlation between plasma nitrite and performance during high-intensive exercise but not oxidative stress in healthy men. *Nitric Oxide*. 2010;23(2):128-35.
11. Bescós R, Rodríguez FA, Iglesias X, Ferrer MD, Iborra E, Pons A. Acute administration of inorganic nitrate reduces VO<sub>2</sub>peak in endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011;43(10):1979-86.
12. Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-

- controlled 2-way crossover study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2016;13(1):6.
13. Golle K, Muehlbauer T, Wick D, Granacher U. Physical fitness percentiles of German children aged 9–12 years: findings from a longitudinal study. *PLoS One*. 2015;10(11):e0142393.
  14. Nazem Shirazi S, Hosseini S. Effect of morning exercise on skill related physical fitness factors of girls aged between 11–13 years old. *Journal of Pediatric Nursing*. 2016;2(4):36-43. [In Persian].
  15. Nikbakht H, Keshavarz S, Ebrahim K. The effects of tapering on repeated sprint ability (RSA) and maximal aerobic power in male soccer players. *American Journal of Scientific Research*. 2011;30:125-33.
  16. Suzuki I, Sakuraba K, Horiike T, Kishi T, Yabe J, Suzuki T, et al. A combination of oral L-citrulline and L-arginine improved 10-min full-power cycling test performance in male collegiate soccer players: a randomized crossover trial. *European Journal of Applied Physiology*. 2019;119:1075-84.
  17. Bailey SJ, Blackwell JR, Williams E, Vanhatalo A, Wylie LJ, Winyard PG, et al. Two weeks of watermelon juice supplementation improves nitric oxide bioavailability but not endurance exercise performance in humans. *Nitric Oxide*. 2016;59:10-20.
  18. Karimian J, Entezari M, Pahlavani N, Papi B, Rasad H, Chaboksavar F. Evaluation the effects of L-arginine supplementation on exercise performance, body composition and serum sodium and potassium in healthy male athletes. *Iranian South Medical Journal*. 2016;18(6):1186-97. [In Persian].
  19. Paddon-Jones D, Børsheim E, Wolfe RR. Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *The Journal of Nutrition*. 2004;134(10):2888S-94S.
  20. Figueroa A, Wong A, Jaime SJ, Gonzales JU. Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2017;20(1):92-8.
  21. Pornoori M, Tadibi V. Improvement of Muscular Strength and Anaerobic Power in Middle-Aged Men after Consumption of Citrulline Malate Supplementation. *Yafteh*. 2024;26(3):60-9. [In Persian].
  22. Shekarchizadeh P, Khazaei M, Gharakhanlou R, Karimian J, Safarzadeh AR. The Effects of Resistance Training on Plasma Angiogenic Factors in Normal Rats. *Journal of Isfahan Medical School*. 2012;30(176). [In Persian].
  23. Bendahan D, Mattei JP, Ghattas B, Confort-Gouny S, Le Guern M-E, Cozzone PJ. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle. *British Journal of Sports Medicine*. 2002;36(4):282-9.
  24. Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. L-Citrulline supplementation improves O<sub>2</sub> uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2015.
  25. Da Silva DK, Jacinto JL, De Andrade WB, Roveratti MC, Estoche JM, Balvedi MC, et al. Citrulline malate does not improve muscle recovery after resistance exercise in untrained young adult men. *Nutrients*. 2017;9(10):1132.
  26. Gonzales JU, Raymond A, Ashley J, Kim Y. Does L-citrulline supplementation improve exercise blood flow in older adults? *Experimental Physiology*. 2017;102(12):1661-71.
  27. van de Poll MC, Soeters PB, Deutz NE, Fearon KC, Dejong CH. Renal metabolism of amino acids: its role in interorgan amino acid exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;79(2):185-97.

28. Qodsi A, Mehranpour A, Abedi, Khansooz M. Comparison of the effect of short-term. [In Persian].
29. Suzuki T, Morita M, Hayashi T, Kamimura A. The effects on plasma L-arginine levels of combined oral L-citrulline and L-arginine supplementation in healthy males. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2017;81(2):372-5.
30. Nybo L, Møller K, Pedersen B, Nielsen B, Secher N. Association between fatigue and failure to preserve cerebral energy turnover during prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*. 2003;179(1):67-74.