



The effect of six weeks of intense interval training and spirulina supplementation on serum levels of hydrogen peroxide and total antioxidant capacity of overweight and obese girls

Mehdi Mogharnasi^{1*}, Mozghan Hatami Farsi², Fatemeh Hajizadeh³, Mojtaba Amirabadizadeh³

1. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. MSc of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Ph.D. Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

Extended Abstract

Background and Aim: Overweight and obesity are major global health concerns, associated with increased risks of various chronic diseases and reduced life expectancy (1). These conditions contribute to elevated production of reactive oxygen species (ROS) and oxidative stress, which can result in significant cellular damage (3). The body's antioxidant defense system—particularly total antioxidant capacity (TAC)—plays a crucial role in counteracting such damage. Hydrogen peroxide (H_2O_2), a potent ROS, serves as a reliable marker of oxidative stress (4, 6).

In recent years, the use of herbal supplements, such as spirulina, alongside regular physical activity has been recommended to reduce oxidative stress and promote overall health. Spirulina, a nutrient-rich microalga, is recognized for its antioxidant, anti-inflammatory, and free radical-scavenging properties, making it an effective supplement (8, 9). High-intensity interval training (HIIT), known for its time efficiency and its broad metabolic and physiological benefits, has grown in popularity. However, the intense nature of HIIT may also lead to increased ROS production, highlighting the need for antioxidant support to minimize potential oxidative damage (16).

Despite the theoretical advantages of combining antioxidant supplementation with high-intensity exercise, limited research has examined the combined effects of HIIT and spirulina on oxidative and antioxidant markers. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of six weeks of HIIT and spirulina supplementation on serum levels of H_2O_2 and TAC in overweight and obese adolescent girls. The objective was to reduce oxidative stress-induced tissue damage and improve body composition in this population.

Materials and Methods: This quasi-experimental study employed a pre-test and post-test design. The study population

Cite this article:

Mogharnasi M, Hatami Farsi M, Hajizadeh F, Amirabadizadeh M. The effect of six weeks of intense interval training and spirulina supplementation on serum levels of hydrogen peroxide and total antioxidant capacity of overweight and obese girls. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2025;13(34):36-51.

*Corresponding Author, Address: Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran;

Email: mogharnasi@birjand.ac.ir

 <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.7485.1858>



consisted of overweight and obese girls (BMI: 25–35 kg/m²) residing in Khorameh, Iran. Thirty participants (mean age: 26.3 ± 12.3 years; mean weight: 75.29 ± 10.0 kg) were perposfully selected and randomly assigned to three groups of 10: control, exercise + supplement, and exercise + placebo. Inclusion criteria included an age range of 22–30 years, no regular physical activity in the past six months, no antioxidant supplement use, and no chronic diseases. Exclusion criteria included unwillingness to continue, irregular attendance, or musculoskeletal injuries during the intervention.

Anthropometric variables (weight, height, BMI, body fat percentage, waist-to-hip ratio [WHR]) were measured before and 24 hours after the intervention. Weight was assessed using a digital scale, height with a stadiometer, and body fat percentage was estimated using a Harpenden caliper and the Jackson-Pollock formula. Aerobic capacity (VO₂max) was assessed using the Queen's step test and its associated formula (18, 19).

Participants in the exercise groups completed a six-week HIIT program, conducted three times per week. The protocol involved sprinting at 90% of maximum heart rate over a 40-meter course (20 meters back and forth). Each session lasted 24–26 minutes, including warm-up, intermittent exercises (30 seconds of high-intensity activity followed by 30 seconds of active rest), and cool-down. The number of repetitions increased progressed from four in the first week to six in the final week (22).

In addition to exercise, the supplement group received two 500 mg spirulina capsules daily (taken one hour before lunch and dinner) for six weeks. The exercise + placebo group received visually identical capsules containing starch. The control group did not receive any intervention.

Blood samples (5 ml) were collected after a 12-hour fast, 24-hour before and 48-hour after the intervention. Serum was separated via centrifugation and stored at -80°C. H₂O₂ and TAC levels were measured using respective kits (ZellBio, Germany) and an ELISA reader.

Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test, and variance homogeneity was verified with Levene's test. Between-group comparisons were conducted using analysis of covariance (ANCOVA) and the LSD post-hoc test, with a significance level of p<0.05. Statistical analyses were performed using SPSS version 26.

Findings: The results demonstrated significant reductions in H₂O₂ levels in the exercise + supplement (p=0.0001) and exercise + placebo (p=0.001) groups, alongside significant increases in TAC (p=0.0001 and p=0.002, respectively). Weight (p=0.001 and p=0.01) and body fat percentage (p=0.0001 and p=0.001) decreased significantly in both exercise groups compared to the control group. The WHR showed a significant reduction only in the exercise + supplement group (p=0.01). Additionally, VO₂max increased significantly in the exercise + supplement (p=0.03) and exercise + placebo (p=0.002) groups.

Conclusion: This study demonstrated that six weeks of HIIT, with or without spirulina supplementation, significantly reduced serum H₂O₂ levels and increased TAC in overweight and obese girls. Both interventions also led to reductions in weight, body fat percentage, and BMI, while improving maximal aerobic capacity. The significant decrease in WHR in the exercise + supplement group underscores the enhanced effect of spirulina on body composition.

HIIT likely enhances antioxidant defense by increasing the activity of enzymes such as superoxide dismutase and improving electron transport chain function. Spirulina, with its antioxidant compounds like phycocyanin and beta-carotene, amplifies this effect (16). The reduction in free radical production and improvements in body composition may mitigate cellular damage caused by oxidative stress (24, 25).

Further research is recommended to elucidate the underlying mechanisms, optimize exercise protocols, and determine ideal spirulina dosages. Future studies should also investigate additional oxidative stress biomarkers to broaden the understanding of these combined interventions.

Overall, these findings highlight the potential of HIIT and spirulina supplementation as a synergistic and non-pharmacological strategy for enhancing metabolic health and managing obesity-related complications.

Keywords: Intense interval training, Spirulina, Hydrogen peroxide, Oxidative stress markers.

Funding: The present article is derived from a Master's thesis in exercise physiology, approved by the University of Birjand, and has not received funding from any governmental or private institution.

Conflicts of interest: The authors of the article declare that there is no conflict of interest in the present study.



تاثیر شش هفته تمرین تناوبی شدید و مصرف مکمل اسپیرولینا بر سطوح سرمی پراکسید هیدروژن و ظرفیت ضد اکسایشی تام دختران دارای اضافه وزن و چاق

مهدی مقرنسی^۱، مژگان حاتمی فارسی^۲، فاطمه حاجی زاده^۳، مجتبی امیرآبادی زاده^۳

۱. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: امروزه استفاده از مکمل های گیاهی و انجام فعالیت های ورزشی منظم برای کاهش آسیب های اکسایشی و بهبود دفاع ضد اکسایشی توصیه شده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر شش هفته تمرین تناوبی شدید و مصرف مکمل اسپیرولینا بر سطوح سرمی پراکسید هیدروژن و ظرفیت ضد اکسایشی تام دختران دارای اضافه وزن و چاق بود. **روش تحقیق:** تعداد ۳۰ دختر دارای اضافه وزن و چاق (با میانگین سنی $12/3 \pm 26/3$ سال و میانگین وزنی $75/29 \pm 10/0$ کیلوگرم) ساکن شهرستان خرامه به طور هدفمند انتخاب و به صورت تصادفی به سه گروه ۱۰ نفره (کنترل، تمرین+مکمل و تمرین+دارونما) تقسیم شدند. آزمودنی ها به مدت شش هفته و سه جلسه در هفته به اجرای تمرین تناوبی شدید (به صورت ایستگاهی با حداکثر سرعت در یک مسیر مشخص به صورت رفت و برگشت) پرداختند. گروه های مکمل و دارونما در طول این مدت روزانه دو عدد قرص ۵۰۰ میلی گرمی اسپیرولینا یا دارونما دریافت کردند. ۲۴ ساعت قبل و ۴۸ ساعت بعد از دوره تمرین، خونگیری برای سنجش سطوح سرمی پراکسید هیدروژن و ظرفیت ضد اکسایشی تام انجام شد. از روش تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی LSD برای مقایسه تغییرات بین گروهی در سطح معنی داری $p < 0/05$ استفاده شد. **یافته ها:** نتایج نشان داد که در گروه های تمرین+مکمل و تمرین+دارونما، مقادیر پراکسید هیدروژن (به ترتیب $p = 0/0001$ و $p = 0/0001$) و ظرفیت ضد اکسایشی تام (به ترتیب $p = 0/0001$ و $p = 0/0002$) به طور معنی داری کاهش و افزایش یافتند. در گروه های تمرین+مکمل و تمرین+دارونما مقادیر وزن (به ترتیب $p = 0/001$ و $p = 0/01$) و درصد چربی (به ترتیب $p = 0/0001$ و $p = 0/0001$) به طور معنی داری نسبت به گروه کنترل کاهش یافت. در ارتباط با شاخص نسبت دور کمر به لگن نتایج نشان داد که این شاخص فقط در گروه تمرین+مکمل کاهش معنی داری داشت ($p = 0/01$) و مقادیر حداکثر اکسیژن مصرفی نیز در گروه تمرین+مکمل و تمرین+دارونما افزایش معنی داری داشت (به ترتیب $p = 0/003$ و $p = 0/002$). **نتیجه گیری:** به نظر می رسد که تمرین تناوبی شدید با و بدون مصرف مکمل اسپیرولینا می تواند از طریق بالا بردن ظرفیت ضد اکسایشی تام و بهبود سیستم دفاع ضد اکسایشی، از تجمع رادیکال های آزاد جلوگیری کرده و مانع آسیب سلولی و همچنین بهبود ترکیب بدن شود.

واژه های کلیدی: تمرین تناوبی شدید، اسپیرولینا، پراکسید هیدروژن، نشانگرهای استرس اکسایشی.

مقدمه

اضافه وزن و چاقی از بزرگ ترین چالش های سازمان بهداشت جهانی به شمار می رود که تابع عوامل زیادی از جمله سن، جنسیت، عوامل اجتماعی، نوع رژیم غذایی و فعالیت های بدنی است. اگر چه همه این عوامل بر وزن بدن موثرند، اما عدم تعادل بین انرژی دریافتی و مصرفی، از مهم ترین عوامل اضافه وزن و چربی به شمار می روند (۱). در زنان جوان، میزان مطلوب چربی ۲۱ تا ۲۴ درصد از وزن بدن است و بیشتر از آن، چاقی محسوب می شود (۲). بدون شک اضافه وزن و چاقی از مشکلات جدی سلامتی در جوامع صنعتی به شمار می رود که عامل بروز بسیاری از بیماری ها است. امروزه ثابت شده است که چاقی و اضافه وزن، باعث افزایش خطر مرگ و میر و کاهش طول عمر می شود. اضافه وزن و چاقی میزان گونه های فعال اکسیژن^۱ (ROS) و استرس اکسایشی در بدن را افزایش می دهد و به نظر می رسد موجب بیماری های خاص مرتبط با اضافه وزن و چاقی می شود (۳). سیستم های فیزیولوژیکی برای مبارزه با ROS از سیستم تخصص یافته و پیچیده ای به نام سیستم ضد اکسایشی استفاده می کنند. به علت تنوع زیاد ضد اکسایش ها در بدن، ظرفیت ضد اکسایشی تام^۲ (TAC) به عنوان یک شاخص معتبر برای اندازه گیری ظرفیت کل بدن در برابر سیستم اکسایشی محسوب می شود (۴). این شاخص مجموع فعالیت هر دو گروه ضد اکسایش موجود در پلاسما و مایعات بدن را نشان می دهد که می تواند یک نشانگر قابل اعتماد در پیش بینی و تشخیص بیماری ها باشد. به طور عادی، بین تولید رادیکال های آزاد و فعالیت سیستم دفاع ضد اکسایشی سلولی، تعادل وجود دارد. اما کاهش فعالیت آنزیم های ضد اکسایشی سلولی و اختلال در تعادل اکسایشی-ضد اکسایشی؛ وضعیت را به سمت استرس اکسایشی و تولید بیشتر رادیکال های آزاد پیش می برد (۵).

ضد اکسایش ها از جمله عوامل اصلی برای مقابله با آسیب های ناشی از ترکیبات رادیکال های آزاد هستند. پراکسید هیدروژن^۳ (H_2O_2) نیز یکی از قوی ترین گونه های ROS است (۶) و محققان از آن به عنوان یک روش شبیه ساز استرس اکسایشی در بدن استفاده می کنند (۷). تحقیقات اخیر

نشان داده است که مصرف بعضی ترکیبات گیاهی به دلیل دارا بودن خاصیت ضد اکسایشی بسیار، باعث کاهش فشار اکسایشی و افزایش تعادل ضد اکسایشی و بهبود ظرفیت آن در شرایط اضافه وزن و چاقی و بیماری های مرتبط با آن می شوند (۸).

اسپرولینا^۴ یک ریز جلبک رشته سبز- آبی است که به عنوان یک مکمل غذایی مغذی استفاده می شود و از جمله خواص آن، می توان به خواص ضد التهابی، ضد اکسایشی، کاهش چربی خون و از بین بردن رادیکال های آزاد اشاره کرد (۸). سازمان بهداشت جهانی از اسپرولینا به عنوان ابر غذا یاد کرده است، زیرا فوق العاده مغذی است. همچنین جزء مکمل های موثر و بی خطر به شمار می رود که تاییدیه سازمان بهداشت جهانی، سازمان بهداشت آمریکا و موسسه غذا و محصولات کشاورزی آمریکا را دارد (۹). این مکمل حاوی کاروتنوئیدها^۵، ترکیبات فنولی، توکوفرول، بتا-کاروتن و فیکوسیانین ها است که همگی نشان دهنده خواص ضد اکسایشی در این مکمل می باشد. در یک مطالعه با ۱۶ دانشجوی داوطلب مصرف رژیم غذایی حاوی پنج درصد اسپرولینا به مدت سه هفته، باعث کاهش قابل توجه نشانه شاخص اکسایشی پلاسما با افزایش همزمان فعالیت سوپراکساید دیسموتاز^۶ (SOD) شد (۱۰).

علی رغم استفاده از راهکارهای درمانی مختلف در کاهش استرس اکسایشی، انجام تمرینات ورزشی می تواند به عنوان یک روش درمانی موثر برای جلوگیری از تشدید فرآیندهای مخرب استرس اکسایشی در نظر گرفته شود. محققان بیان کرده اند که اثرات مطلوب فعالیت های ورزشی در بهبود برخی از بیماری ها به دلیل کاهش سطوح استرس اکسایشی و افزایش توان ضد اکسایشی ناشی از ورزش است (۴). طبق نتایج پژوهشی، پس از فعالیت بدنی، بهبود قابل توجهی در تعادل اکسایش-ضد اکسایش از طریق افزایش سیستم دفاع ضد اکسایشی ایجاد می شود (۱۱). همچنین تمرین و فعالیت های بدنی می تواند منجر به عدم تعادل بین ROS و ضد اکسایش ها شود (۱۲). اخیراً تمرینات تناوبی شدید^۷ (HIIT) در بین افراد جامعه مورد توجه خاصی قرار گرفته است (۱۳). HIIT، پروتکل هایی با زمان کم است که شامل جلسات متناوب تمرین با حجم کم و شدت زیاد

1. Reactive oxygen species
2. Total antioxidant capacity
3. Hydrogen peroxide

4. Spirulina
5. Carotenoids
6. Superoxide dismutase

7. High-intensity interval training

سایر بیماری‌های وابسته به چاقی و کاهش هزینه‌های درمانی بردارد. از سوی دیگر، با توجه به مطالعات محدود در خصوص اثر مکمل اسپیرولینا بر سیستم اکسایشی-ضداکسایشی، بنظر می‌رسد بررسی تاثیر پروتکل HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا بر سطوح سرمی H_2O_2 و TAC دختران دارای اضافه وزن و چاق، بتواند کمک موثری در کاهش تولید رادیکال‌های آزاد به هنگام تمرین افراد چاق و اضافه وزن کرده و از آسیب‌های بافتی و عضلانی ناشی از HIIT جلوگیری نماید. لذا هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر شش هفته HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا بر سطوح سرمی H_2O_2 و TAC دختران دارای اضافه وزن و چاق بود.

روش تحقیق

مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون و پس آزمون بود. جامعه آماری این پژوهش دختران دارای اضافه وزن و چاق ساکن شهرستان خرامه بودند که طی فراخوانی که از طریق شبکه بهداشت شهرستان خرامه انجام شد، ۳۰ نفر به صورت هدفمند پس از شرکت در یک جلسه توجیهی و ارائه توضیحات کامل در خصوص روند اجرای تحقیق، انتخاب شدند.

معیارهای ورود به تحقیق عبارت بودند از: دامنه سنی ۲۲ تا ۳۰ سال، شاخص توده بدنی^۲ (BMI) ۲۵-۳۵ کیلوگرم بر متر مربع، عدم انجام فعالیت بدنی منظم طی ۶ ماه قبل از مطالعه، عدم ابتلا به هر گونه بیماری، نداشتن رژیم غذایی برای کاهش وزن، عدم استعمال دخانیات، عدم مصرف مکمل‌های ضداکسایشی، عدم مصرف هرگونه دارو و عدم قرار داشتن در فاز خونریزی قاعدگی. از طرف دیگر، عدم تمایل افراد به ادامه تمرینات، شرکت در برنامه‌های ورزشی منظم غیر از برنامه ورزشی پژوهش حاضر، عدم حضور بیش از دو جلسه در برنامه تمرینات، و ابتلا به آسیب‌های عضلانی و مفصلی در طول مداخله؛ به عنوان معیارهای خروج از تحقیق در نظر گرفته شدند. بعد از تکمیل فرم رضایت نامه، و تکمیل پرسشنامه سلامت و سابقه ورزشی (پرسشنامه ای با ۲۹ سوال و در ابعاد مختلف سوابق خانوادگی، دارویی، بیماری، عفونت، ورزشی و...)؛ داوطلبان به شکل تصادفی به سه گروه ۱۰ نفره شامل گروه تمرین+ دارونما، گروه تمرین+ مکمل و گروه کنترل تقسیم شدند.

می‌باشد و دارای مزیت نسبی در مقابل تمرین‌های سنتی تداومی، به لحاظ وقت و کارایی بیشتر هستند و همچنین، به لحاظ متابولیکی و فیزیولوژیکی، فواید بسیاری دارد (۱۴، ۱۵). در HIIT، افزایش شدت فعالیت، سبب افزایش دمای مرکزی بدن، افزایش غلظت کلسیم درون سلولی و سنتز پروکسی نیترات^۱ و نقص در زنجیره انتقال الکترون می‌شود که در نهایت، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد را به دنبال دارد. از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌ها بیانگر این موضوع است که قرار گرفتن پی‌درپی در شرایط تولید رادیکال‌های آزاد، سازگاری‌هایی از قبیل افزایش فعالیت آنزیم SOD و TAC پلاسمایی به وجود می‌آورد که نتیجه آن افزایش دفاع سلولی و فعالیت سیستم ضداکسایشی در برابر رادیکال‌های آزاد است. فعالیت‌های ورزشی با شدت بالا، از طریق بهبود عملکرد دستگاه انتقال الکترون در بهبود نیم‌رخ ضداکسایشی نقش دارد (۱۶). نتایج پژوهش خیرآبادی و دیگران (۲۰۲۰) نشان می‌دهد که مکمل اسپیرولینا و HIIT، باعث کاهش عوامل التهابی حاصل از اضافه وزن و چاقی می‌شود (۱۷). همچنین نتایج تحقیقات منصوری دارا و دیگران (۲۰۲۲) نیز نشان داده است که پروتکل HIIT باعث بهبود عوامل اکسایشی و ضداکسایشی در زنان دارای اضافه وزن و چاق می‌شود (۸). در مطالعه ای دیگر نیز نشان داده شده است که ۱۲ هفته تمرین تناوبی، می‌تواند باعث افزایش ظرفیت ضداکسایشی تام در زنان شود (۴).

با توجه به این که HIIT به عنوان یک روش ورزشی سالم و کارآمد با توانایی تاثیر بر چندین متغیر سلامت از جمله بهبود وزن و افزایش ظرفیت ضداکسایشی، محبوبیت زیادی به دست آورده است و نظر به این که نیاز به مصرف انرژی در تمرینات شدید موجب افزایش اکسیژن مصرفی می‌گردد و در نهایت، تولید ROS افزایش می‌یابد؛ این امکان وجود دارد که مکمل‌های ضداکسایشی بتوانند از استرس اکسایشی و آسیب عضلانی ناشی از آن جلوگیری کنند و از آنجایی که استفاده از داروهای گیاهی و طبیعی دارای خواص ضداکسایشی، به نسبت داروهای شیمیایی، ممکن است بسیار مؤثر واقع شده و در کاهش التهابات و بهبود استرس اکسایشی تاثیر بسزایی داشته باشد و گامی مؤثر برای پیشگیری از صدمات ناشی از استرس اکسایشی بر بدن و

نقطه‌ای (در سه ناحیه سه سر بازو، فوق خاصره و ران از سمت راست بدن در سه نوبت و به فاصله ۲۰ ثانیه بین هر نوبت، برای بازگشت به حالت اولیه) اندازه گیری و سپس درصد چربی بدن با فرمول جکسون و پولاک^۴ محاسبه شد (۱۸، ۱۹). نسبت دور کمر به دور لگن^۵ (WHR) با اندازه‌گیری دور کمر (در باریک‌ترین قسمت کمر در حالی که فرد در انتهای بازدم طبیعی خود و روی دو پا به صورت متعادل قرار دارد) و دور لگن (در پهن‌ترین قسمت آن)، به وسیله متر نواری غیرقابل ارتجاع؛ و محاسبه نسبت دور کمر به لگن بدست آمد (۱۸).

(سن $\times 0.0013923$) - (مجموع چین پوستی $\times 0.000023$) + (مجموع چین پوستی $\times 0.0009929$) - $1/0.99421$ = چگالی بدن

$4/5 \times 100$ - (چگالی بدن $\div 4/95$) = درصد چربی بدن

عدد کپسول ۵۰۰ میلی گرمی دارونما محتوی نشاسته که ظاهری مشابه با کپسول‌های اسپیرولینا داشت و از شرکت نادر اصفهان تهیه شده بود را در دو نوبت (یک ساعت قبل از ناهار و یک ساعت قبل از شام) به صورت یک سو کور مصرف نمودند.

جزئیات پروتکل تمرین اجرا شده: پروتکل HIIT با شدت ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، سه جلسه در هفته برای شش هفته اجرا شد. تمرینات از ۲۴ دقیقه در جلسه اول (پنج تا ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۳۰ ثانیه تمرین (دویدن) و ۳۰ ثانیه استراحت فعال (راه رفتن) با چهار تکرار، پنج تا ۱۰ دقیقه سرد کردن) شروع و به ۲۶ دقیقه در جلسه آخر (پنج تا ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۳۰ ثانیه تمرین و ۳۰ ثانیه استراحت فعال، با شش تکرار، پنج تا ۱۰ دقیقه سرد کردن) رسید. آزمودنی‌ها در یک مسافت ۲۰ متری که توسط مخروط مشخص شده بود (شکل یک)، پروتکل تمرینی را به مدت شش هفته و هر هفته سه جلسه اجرا کردند. با شروع پروتکل تمرینی، آزمودنی‌ها با حداکثر سرعت از نقطه شروع (مخروط شماره یک) به طرف مخروط شماره دو می‌دویدند (مسیر A)، سپس بر می‌گشتند و در جهت مخالف، با حداکثر سرعت ۲۰ متر به طرف مخروط شماره سه می‌دویدند (مسیر B). در نهایت، با حداکثر سرعت به نقطه شروع (مخروط شماره یک) بر می‌گشتند (مسیر

نحوه اندازه‌گیری ویژگی‌های فردی: قبل و ۲۴ ساعت پس از اتمام دوره تمرین، ویژگی‌های فردی و جسمانی آزمودنی‌ها از جمله، قد آزمودنی‌ها با قدسنج یاگامی^۱ ساخت کشور ژاپن و وزن با ترازوی دیجیتالی شیائومی^۲ مدل XMTZC02HM با دقت ۰/۰۱ و با لباس سبک، اندازه‌گیری شد. BMI شرکت کنندگان از تقسیم وزن بدن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر مربع) محاسبه گردید (۱۸). درصد چربی بدن از طریق اندازه‌گیری چربی زیرپوستی آزمودنی‌ها با استفاده از کالپیر هارپندن^۳ با دقت ۰/۲ میلی متر، ساخت کشور انگلیس به روش سه

برای ارزیابی حداکثر کسپژن مصرفی^۶ (VO_2max) قبل و ۲۴ ساعت پس از اتمام دوره مداخله، از آزمون پله کوئین^۷ و فرمول مربوط به آن استفاده شد (۲۰). برای اجرای این آزمون، جعبه‌ای مکعب شکل به ارتفاع ۴۱/۳ سانتی‌متر انتخاب نموده و از آزمودنی خواسته می‌شد که به‌طور هماهنگ روی پله رفته و دوباره پایین بیایند. ریتم مورد استفاده برای این آزمون برای خانم‌ها ۲۲ گام بر دقیقه است. حرکت به این ترتیب انجام می‌گیرد: بالا رفتن پای اول + بالا رفتن پای دوم + پایین آمدن پای اول + پایین آمدن پای دوم. این بالا و پایین رفتن‌ها باید بدون مکث و در زمان سه دقیقه انجام گیرد پس از پایان زمان تعیین شده فرد مورد نظر روی پله نشسته و بلافاصله بعد از پنج ثانیه استراحت، تعداد ضربان قلب او برای مدت یک دقیقه اندازه‌گیری و سپس ظرفیت هوازی فرد محاسبه گردید (۲۱).

(ضربان قلب $\times 0.42$) - $111/33$ = VO_2max

نحوه مصرف مکمل اسپیرولینا و دارونما: مکمل اسپیرولینا به شکل کپسول از شرکت ریچان نقش جهان اصفهان تهیه شد. گروه تمرین + مکمل به مدت شش هفته روزانه دو عدد قرص ۵۰۰ میلی گرمی اسپیرولینا در دو نوبت (یک ساعت قبل از ناهار و یک ساعت قبل از شام) مصرف کردند. گروه تمرین + دارونما نیز روزانه دو

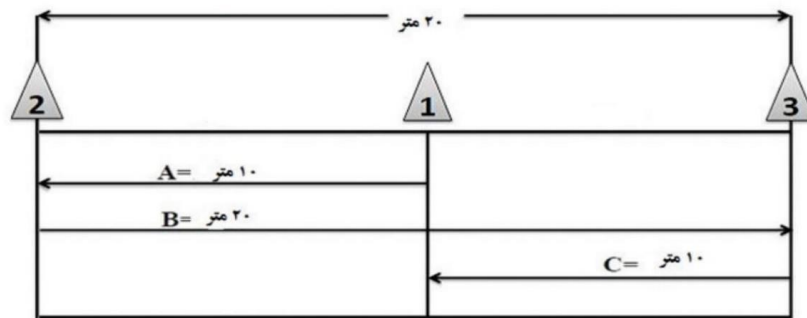
1. Yagami
2. Xiaomi
3. Harpenden

4. Ackson & Pollock
5. Waist-Hip ratio
6. Maximal oxygen uptake

7. Queens step

هفته پنجم و ششم اعمال شد (۲۲). شدت تمرین در تمام مراحل پروتکل ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه بود که برای تمام آزمودنی‌ها، با استفاده از ضربان سنج پولار^۱ مدل A300 ساخت کشور فنلاند از طریق فرمول ۲۲۰ منهای سن کنترل گردید.

C) تا مسافت ۴۰ متر کامل شود. آزمودنی‌ها این روند را با حداکثر سرعت ادامه می‌دادند تا دوره زمانی ۳۰ ثانیه پروتکل تمرینی به اتمام برسد. پس از ۳۰ ثانیه استراحت، پروتکل تمرین تکرار می‌شد. پیشرفت تمرین با افزایش تعداد تکرارهای ۳۰ ثانیه‌ای از چهار نوبت در هفته اول و دوم، به پنج نوبت در هفته سوم و چهارم، و شش نوبت در



شکل ۱. طرح شماتیک پروتکل تمرین تناوبی شدید

آزمون لون^۶ بررسی گردید. برای مقایسه بین گروهی از روش تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنی‌دار^۷ (LSD) استفاده شد. سطح معنی داری آماری در کلیه موارد $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم افزاری آماری SPSS نسخه ۲۶ انجام گردید.

یافته ها

میانگین سن، قد و وزن هر سه گروه کنترل، تمرین+مکمل و تمرین+دارونما در جدول یک ارائه شده است. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که مقادیر p در همه شاخص ها کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد (جدول دو). بنابراین، می‌توان گفت تفاوت معنی داری بین گروه ها در شاخص های H_2O_2 ، TAC، وزن، BMI، $VO_2\max$ و WHR و درصد چربی پس از شش هفته HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا وجود دارد ($p < 0.05$).

نتایج آزمون LSD نشان داد که مقادیر H_2O_2 ، وزن، BMI، درصد چربی در گروه های تمرین+مکمل و تمرین+دارونما نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل دو). از طرف دیگر، مقادیر TAC و $VO_2\max$ در گروه تمرین+مکمل و تمرین+دارونما نسبت به گروه کنترل

خونگیری و آنالیز آزمایشگاهی: ۲۴ ساعت قبل و حدود ۴۸ ساعت پس از دوره تمرین، بین ساعت هشت تا ۱۰ صبح و در پی ۱۲ ساعت ناشتایی، حدود پنج میلی لیتر خون از ورید قدامی بازویی آزمودنی‌ها در وضعیت نشسته (در محل آزمایشگاه دکتر علیایی شهر خرامه) گرفته شد. نمونه‌های خونی به منظور جداسازی سرم، به مدت پنج دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ هیتاچی^۲، مدل Micro 120، ساخت کشور آلمان سانتریفیوژ شدند و جداسازی سرم صورت گرفت. سپس نمونه ها در میکروتیوپ‌های جداگانه (۱/۵ میلی‌لیتری) و به تفکیک گروه ها، در یخچال فریزر با دمای -80°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. برای سنجش آنزیم ها مطابق با دستورالعمل سازنده، از کیت TAC (حساسیت ۱۰۰ میکرو مولار بر لیتر ساخت کمپانی زل بایو^۳، کشور آلمان) و از کیت H_2O_2 (با حساسیت پنج میکرو مول بر لیتر ساخت کمپانی زل بایو-کشور آلمان) استفاده شد و به وسیله دستگاه الیزا ریدر^۴ ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری گردید.

روش های آماری: بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک^۵ و فرض برابری واریانس ها، با

1. Polar
2. Hettich
3. Zellbio

4. Elisa reader
5. Shapiro-Wilk
6. Levene

7. Least significant difference

استفاده از این مکمل، مقادیر H_2O_2 در گروه های مکمل و مکمل+تمرین نسبت به گروه دارونما؛ کاهش می یابد (۲۳). همچنین در تحقیقی مشابه خدادادی و دیگران (۲۰۲۲) اثر چهار هفته HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا را در زنان دارای دیابت نوع دو مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مقادیر مالون دی آلدئید^۱ در گروه های مکمل و مکمل+تمرین به نسبت گروه کنترل، کاهش معنی داری پیدا می کند (۲۴). این کاهش می تواند نتیجه اثرات ضد اکسایشی و محافظتی اسپیرولینا به دلیل فیکوسیانین ها^۲، بتاکاروتن^۳ و سایر ویتامین ها و مواد معدنی موجود در آن باشد (۲۵)، که به طور خاص در کاهش پراکسیداسیون لیپیدی نقش دارند (۲۶). همچنین سوپریا^۴ و دیگران (۲۰۲۳) پس از ۱۲ هفته HIIT با تکرار سه جلسه در هفته، همراه با مکمل اسپیرولینا با دوز شش گرم در روز، نشان دادند که مقادیر آدیپوکاین های پیش التهابی بهبود قابل توجهی یافته و این بهبود بیشتر از گروه های مکمل و تمرین به تنهایی است (۲۷). از طرف دیگر و ناهمسو با نتایج مطالعه حاضر، شیام^۵ و دیگران (۲۰۰۷) گزارش کرده

به طور معنی داری افزایش یافت (شکل دو). بعلاوه، مقادیر WHR در گروه تمرین+مکمل نسبت به گروه کنترل به طور معنی داری کاهش یافت ($p=0/01$)، بین سایر گروه ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($p>0/05$).

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شش هفته HIIT به تنهایی و همراه با اسپیرولینا، H_2O_2 سرمی دختران دارای اضافه وزن و چاق را به طور معنی دار کاهش می دهد؛ ضمن آن که اثر توام HIIT و اسپیرولینا بر کاهش این متغیر بیشتر بود. نتایج موجود دال بر تاثیر تعدیل کنندگی مکمل اسپیرولینا بر این رادیکال آزاد می باشد. با توجه به جستجوی به عمل آمده، مطالعه ای که مستقیماً اثر HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا را بر شاخص H_2O_2 ارزیابی کند، منتشر نشده است. اما با توجه به خاصیت ضد اکسایشی مکمل اسپیرولینا، نتایج تحقیق حاضر با نتایج افضل پور و دیگران (۲۰۱۸) همسو است. آنان تاثیر مکمل کوتاه مدت سلنیوم به دنبال فعالیت حاد روی ۱۰ پسر غیر فعال را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که پس از ۱۴ روز

جدول ۱. توصیف (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) ویژگی های اندازه گیری شده و نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای بررسی تغییر در

متغیرهای وابسته در سه گروه شرکت کننده

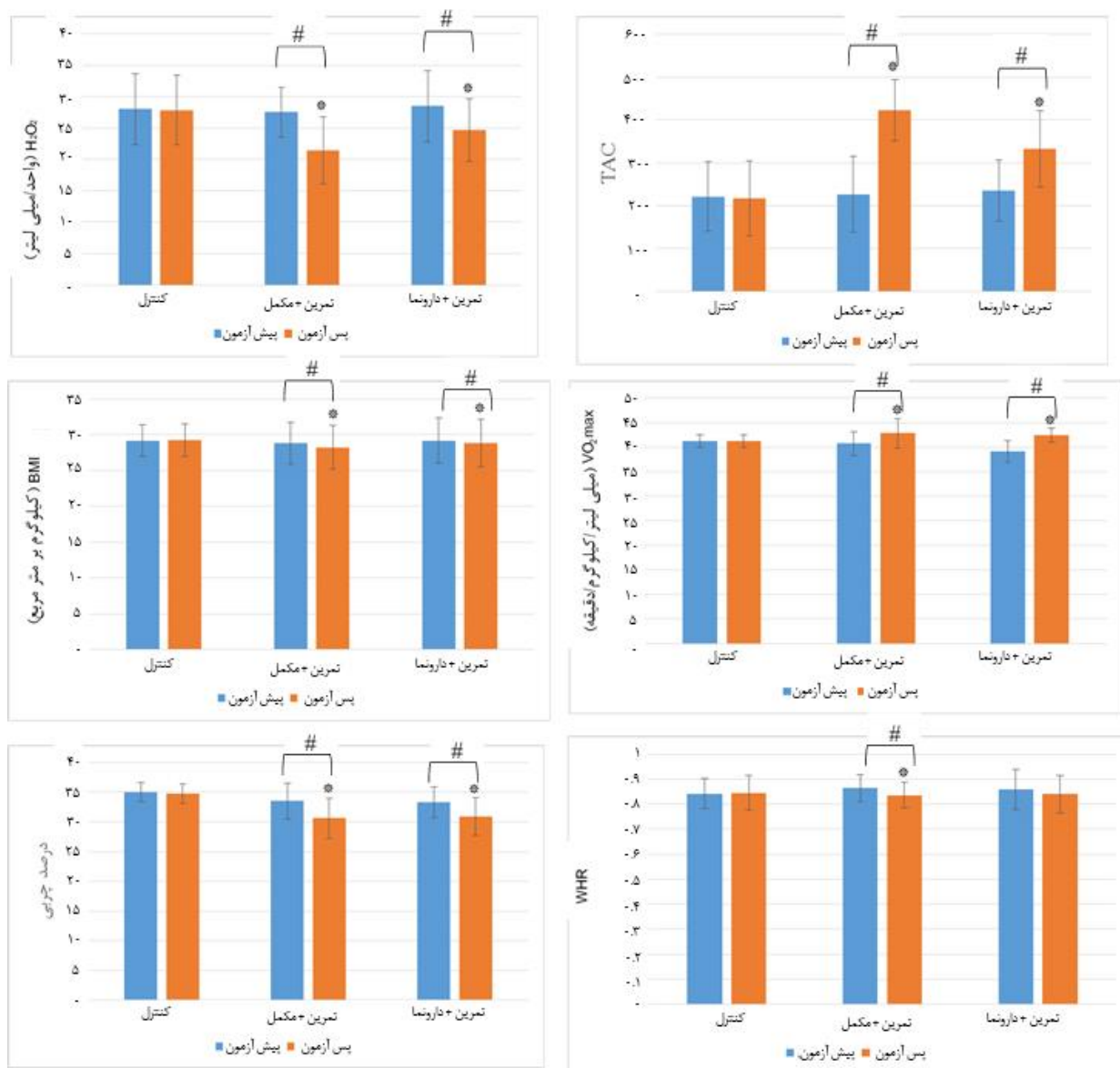
نتایج آزمون		گروه تمرین+ دارونما	گروه تمرین+مکمل	گروه کنترل	مراحل	متغیرها
p	F					
۰/۰۰۰۱*	۱۵/۳۵	۲۸/۴۹ $\pm$ ۵/۶۴	۲۷/۵۱ $\pm$ ۴/۰۰	۲۷/۹۸ $\pm$ ۵/۶۳	پیش آزمون	پراکسید هیدروژن (واحد/ میلی لیتر)
		۲۴/۶۴ $\pm$ ۴/۹۹	۲۱/۴۴ $\pm$ ۵/۳۲	۲۷/۸۵ $\pm$ ۵/۵۳	پس آزمون	
۰/۰۰۰۱*	۲۵/۵۷	۲۳۵/۰۰ $\pm$ ۷۱/۳۷	۲۲۶/۸۰ $\pm$ ۸۸/۲۱	۲۲۱/۰۰ $\pm$ ۸۱/۱۶	پیش آزمون	طرفیت ضد اکسایشی تام (واحد/ میلی لیتر)
		۳۳۲/۰۰ $\pm$ ۸۹/۲۹	۴۲۲/۸۰ $\pm$ ۷۱/۴۱	۲۱۷/۰۰ $\pm$ ۸۷/۹۴	پس آزمون	
۰/۰۰۰۱*	۱۱/۷۵	۷۵/۳۷ $\pm$ ۱۱/۳۰	۷۴/۲۹ $\pm$ ۹/۸۴	۷۶/۲۱ $\pm$ ۸/۸۶	پیش آزمون	وزن (کیلوگرم)
		۷۴/۶۹ $\pm$ ۱۱/۷۶	۷۲/۸۲ $\pm$ ۱۰/۲۲	۷۶/۴۰ $\pm$ ۸/۶۹	پس آزمون	
۰/۰۰۱*	۹/۸۳	۲۹/۱۵ $\pm$ ۳/۱۶	۲۸/۸۱ $\pm$ ۲/۹۲	۲۹/۱۷ $\pm$ ۲/۲۳	پیش آزمون	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)
		۲۸/۸۳ $\pm$ ۳/۳۵	۲۸/۲۳ $\pm$ ۳/۰۶	۲۹/۲۴ $\pm$ ۲/۲۲	پس آزمون	
۰/۰۴*	۳/۴۲	۳۹/۱۸ $\pm$ ۲/۱۹	۴۰/۷۳ $\pm$ ۲/۳۷	۴۱/۲۳ $\pm$ ۱/۲۸	پیش آزمون	حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)
		۴۲/۴۵ $\pm$ ۱/۴۴	۴۲/۸۴ $\pm$ ۳/۰۰	۴۱/۲۳ $\pm$ ۱/۲۸	پس آزمون	
۰/۰۰۰۱*	۱۱/۶۴	۳۳/۳۱ $\pm$ ۲/۶۰	۳۳/۴۹ $\pm$ ۳/۰۰	۳۴/۹۵ $\pm$ ۱/۶۱	پیش آزمون	چربی (درصد)
		۳۰/۹۰ $\pm$ ۳/۲۳	۳۰/۶۲ $\pm$ ۳/۳۶	۳۴/۷۸ $\pm$ ۱/۶۰	پس آزمون	
۰/۰۳*	۴/۰۱	۰/۸۵ $\pm$ ۰/۰۷	۰/۸۶ $\pm$ ۰/۰۵	۰/۸۴ $\pm$ ۰/۰۵	پیش آزمون	نسبت دور کمر به باسن
		۰/۸۴ $\pm$ ۰/۰۷	۰/۸۳ $\pm$ ۰/۰۵	۰/۸۴ $\pm$ ۰/۰۶	پس آزمون	

*نشانه تفاوت معنی دار بین گروه ها در سطح $p<0/05$.

1. Malondialdehyde
2. Phycocyanin

3. β -Carotene
4. Supriya

5. Shyam



شکل ۲. بررسی تغییرات درون گروهی متغیرهای وابسته به دنبال شش هفته تمرینات تناوبی شدید به همراه مصرف مکمل اسپیرولینا. *نشانه تفاوت معنی دار درون گروهی $p < 0.05$; # نشانه تفاوت معنی دار بین گروه تمرین + مکمل و تمرین + دارونما با گروه کنترل در سطح $p < 0.05$.

مقادیر مالون دی آلدئید و TAC گروه ها وجود ندارد (۲۹). احتمالاً این نتایج ناهمسو می تواند به دلیل تفاوت ویژگی های شرکت کنندگان (سالن- بیمار)، مدت و شدت تمرین و نوع مکمل دریافتی باشد؛ به طوری که مطالعه خدادای و دیگران (۲۰۲۲) (۲۴) روی افراد بیمار و دارای دیابت نوع دو مطالعه صورت گرفته و در مطالعه شیم و دیگران (۲۰۰۷)، تنها اثر مکمل اسپیرولینا مورد بررسی

اند که مقادیر مالون دی آلدئید و سوکسینات دهیدروژناز^۱ در افراد سالم پس از مصرف یک دوره ۳۰ روزه اسپیرولینا، با دوز یک گرم در روز، بدون تغییر باقی می ماند (۲۸). همچنین کریمی اصل و دیگران (۲۰۲۳) در بررسی مصرف مکمل عناب و دو نوع تمرین تناوبی شدید و استقامتی بر وضعیت استرس اکسایشی و ظرفیت ضد اکسایشی نشان دادند که پس از چهار هفته تمرین، تفاوت معنی داری در

در گروه‌های تجربی تغییر معنی‌داری نداشته است (۲۴). از دلایل احتمالی عدم همخوانی یافته‌های حاضر می‌توان به مدت و شدت تمرین، نوع آزمودنی‌ها و وضعیت سلامتی و آمادگی جسمانی آزمودنی‌ها اشاره کرد. تمرین همراه با مکمل‌های اسپیرولینا، به دلیل خواص ضداکسایشی می‌تواند اثرات قابل توجهی بر ظرفیت ضداکسایشی بدن گذاشته و باعث بهبود آسیب‌های ناشی از استرس اکسایشی شود. با توجه به ماهیت انجام HIIT که با شدت بالا و در مدت زمان کم انجام می‌گردد؛ می‌تواند باعث افزایش مصرف اکسیژن شده و ممکن است ظرفیت تولید ROS بدن را افزایش دهد، روندی که می‌تواند منجر به افزایش استرس اکسایشی و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدی شود (۲۴). بنابراین تجویز مکمل‌های اسپیرولینا می‌تواند با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش تولید مشتقات رادیکال‌های آزاد، از بدن محافظت کرده و این امر نشان دهنده کاهش سطح H_2O_2 سرم و افزایش مقادیر TAC است. از سوی دیگر، ورزش تولیدکننده قوی ROS است و تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش قرار گرفتن در معرض ROS، منجر به سازگاری آنزیم‌های ضداکسایشی در بافت عضلات قلب و اسکلتی در مدل‌های حیوانی و انسانی می‌شود. بین شدت تمرین و تغییرات ظرفیت ضداکسایشی کل (TAC) رابطه مستقیم وجود دارد.

از دیگر یافته‌های این پژوهش، کاهش معنی‌دار در شاخص‌های وزن، BMI و درصد چربی و افزایش شاخص VO_2max در گروه تمرین+مکمل و تمرین+دارونما به نسبت گروه کنترل بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که WHR آزمودنی‌ها فقط در گروه تمرین+مکمل به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ که این موضوع بر اثر مضاعف مکمل اسپیرولینا برای رسیدن به کاهش وزن دلالت دارد. همچنین در رابطه با VO_2max نتایج نشان داد که مقادیر این شاخص در دو گروه تمرین+مکمل و تمرین+دارونما نسبت به گروه کنترل، به طور معنی‌داری افزایش یافته است. نتایج حاضر با یافته‌های هرماندز^۲ و دیگران (۲۰۱۹)، دلفان^۳ و دیگران (۲۰۲۴) و نوبری و دیگران (۲۰۲۲) همسو است (۳۳-۳۵). هرماندز و دیگران (۲۰۱۹) نشان داده‌اند که ورزش منظم به همراه مکمل اسپیرولینا، اثرات مثبتی بر BMI، درصد چربی بدن، نیمرخ لیپیدی و VO_2max دارد

قرار گرفته و مداخله برنامه تمرینی نداشته و در مطالعه کریمی اصل و دیگران (۲۰۲۳)، از مکمل عناب استفاده شده و مدت تمرین چهار هفته بوده است. در افراد چاق و دارای اضافه وزن، به دلیل اختلال در عملکرد میتوکندری و همچنین نفوذ ماکروفاژهای پیش التهابی، سبب افزایش ROS در بدن می‌شود. در پروتکل‌های HIIT نیز افزایش شدت فعالیت، سبب افزایش دمای مرکزی بدن، افزایش غلظت کلسیم درون سلولی و سنتز پروکسی‌نیتريت و نقص در زنجیره انتقال الکترون؛ افزایش ROS را به دنبال دارد. از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌ها بیانگر این موضوع است که قرارگرفتن پی در پی در شرایط تولید رادیکال‌های آزاد، سازگاری‌هایی از قبیل افزایش فعالیت آنزیم SOD و ATC پلاسمایی به وجود می‌آورد که نتیجه آن افزایش دفاع سلولی و فعالیت سیستم ضداکسایشی در برابر رادیکال‌های آزاد است. همچنین فعالیت‌های ورزشی با شدت بالا و منظم، از طریق بهبود عملکرد دستگاه انتقال الکترون در بهبود نیمرخ ضداکسایشی نقش ایفا می‌کنند (۱۶). از سوی دیگر، مکمل اسپیرولینا نیز به دلیل دارا بودن خواص ضداکسایشی (۲۵)، وضعیت ضداکسایشی تام بدن را افزایش می‌دهد. پس کاهش در مقادیر H_2O_2 می‌تواند در اثر سازگاری به وجود آمده در اثر تمرین و اثر ضداکسایشی مکمل اسپیرولینا باشد.

سایر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شش هفته HIIT به تنهایی و همراه با اسپیرولینا، TAC سرمی دختران دارای اضافه وزن و چاق را به طور معنی‌دار افزایش می‌دهد؛ ضمن آن که اثر توأم HIIT و اسپیرولینا بر افزایش این متغیر بیشتر بود. در زمینه افزایش میزان TAC، نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های بگدانیس^۱ و دیگران (۲۰۱۳)، کریمی اصل و دیگران (۲۰۲۳) و خانی و دیگران (۲۰۲۳) همسو (۲۹-۳۱)؛ و با یافته‌های یوسف‌پور و دیگران (۲۰۱۵) و خدادادی و دیگران (۲۰۲۲) ناهمسو است (۲۴). یوسف‌پور و دیگران (۲۰۱۵) نشان داده‌اند که هشت هفته HIIT بر میزان TAC و مالون دی‌آلدئید بافت کبدی موش‌های صحرایی نر ویستار تأثیر معنی‌داری ندارد (۳۲). همچنین خدادادی و دیگران (۲۰۲۲) با بررسی چهار هفته HIIT همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا در زنان میان سال دارای دیابت نوع دو، نشان داده‌اند که مقادیر TAC

1. Bogdanis

3. Delfan

2. Hernández-Lepe

فسفوریل‌اسیون هوازی به دنبال اجرای تمرین که در نتیجه افزایش تعداد و فعالیت آنزیم‌های اکسایشی عضله حاصل می‌شود، به عنوان یکی از سازوکارهای احتمالی افزایش در VO_{2max} پس از این نوع تمرین مطرح است. اسپیرولینا سرشار از پلی‌پپتید آبی رنگی به نام فیکوسیانین است. دانشمندان چینی اثرات آن را با هورمون اریتروپویتین^۲ برابر دانسته‌اند، که با اثر بر سلول‌های بنیادی مغز استخوان، موجب تحریک تولید گلبول‌های قرمز برای اکسیژن رسانی می‌شود. اسپیرولینا با دارا بودن عوامل انتقال اکسیژن و بیشترین مقدار آهن و اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری برای سنتز گلوبین، در افزایش VO_{2max} نقش بارزی ایفا می‌کند. افزایش اکسیژن رسانی بیشتر توسط عوامل انتقال دهنده اکسیژن بوسیله اسپیرولینا در تمرینات ورزشی، باعث تشدید اثر فعالیت بر افزایش VO_{2max} می‌شود. بنابراین استفاده از مکمل اسپیرولینا و HIIT به صورت همزمان، تاثیر بیشتری بر توان هوازی خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد به دنبال شش هفته HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا، توان هوازی و مقادیر TAC افزایش و وزن کاهش یافته است، که نشان دهنده تقویت سیستم دفاع ضد اکسایشی بدن می‌باشد. همچنین با تقویت سیستم دفاع ضد اکسایشی بدن، میزان تولید رادیکال آزاد H_2O_2 به طور معنی‌داری کاهش یافته است. احتمالاً مکمل اسپیرولینا در تعامل با HIIT می‌تواند وضعیت ترکیب بدنی را بهبود بخشد و آسیب‌های سلولی به وجود آمده ناشی از استرس اکسایشی را کاهش دهد. با این حال، به منظور درک بهتر سازوکار فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی بدن و وضعیت سیستم دفاع ضد اکسایشی، بهتر است مطالعات بیشتری با تغییر در پروتکل‌های تمرینی، دوز مصرف مکمل و نوع شاخص‌های استرس اکسایشی انجام گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منفعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

بدین وسیله از کلیه آزمودنی‌ها و پرسنل آزمایشگاه دکتر علیایی که ما را در این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نماییم.

(۳۳). دلفان و دیگران (۲۰۲۴) با بررسی اثر ۱۲ هفته HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا بر آدیپوکاین‌ها، سلامت قلب و عروق و شاخص‌های ترکیب بدنی مردان چاق نشان دادند که ترکیب اسپیرولینا و HIIT تغییرات قابل توجهی در آدیپوکاین‌های در گردش، سلامت قلب و عروق، ترکیب بدن و VO_{2peak} مردان چاق در مقایسه با مکمل یا HIIT به تنهایی، ایجاد می‌کند (۳۴). نوبری و دیگران (۲۰۲۲) با بررسی اثر هشت هفته HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا، نشان داده‌اند که پس از تمرین و تمرین همراه با مکمل اسپیرولینا؛ شاخص‌های وزن، BMI و WHR کاهش و متقابلاً VO_{2max} افزایش می‌یابد (۳۵). از این رو، می‌توان احتمال داد که HIIT همراه با مکمل اسپیرولینا می‌تواند بر شاخص‌های مد نظر اثر مثبتی داشته باشد. از سوی دیگر، مطالعه غلامی و دیگران (۲۰۲۰) که بر روی مردان میانسال دارای اضافه وزن و چاق انجام گرفته است، تغییر معنی‌داری در وزن، BMI، WHR و درصد چربی آزمودنی‌ها گزارش نکرده است (۳۶). از دلایل عدم همخوانی می‌توان به جنسیت، نوع، شدت و مدت تمرین اشاره کرد. به نظر می‌رسد پروتکل تمرین مقاومتی دایره‌ای در مطالعه مذکور به نسبت HIIT اجرا شده در تحقیق حاضر، نتوانسته در بهبود ترکیب بدنی موثر باشد. کاهش در چربی و بهبود ترکیب بدنی را می‌توان به طور منطقی به مصرف انرژی بیشتر مرتبط با HIIT نسبت داد. به نظر می‌رسد که مصرف مکمل اسپیرولینا می‌تواند رادیکال‌های آزاد تولید شده بر اثر HIIT را کاهش دهد و باعث بهبود سیستم دفاع ضد اکسایشی بدن شود؛ ضمن آن که از طریق کاهش وزن، BMI، WHR و درصد چربی؛ ترکیب بدنی را بهبود بخشیدن و باعث عملکرد بهتر توان هوازی شود. علاوه بر این، مطالعات انجام شده نشان می‌دهد اسپیرولینا پتانسل افزایش درصد توده بدون چربی بدن، کاهش توده چربی، و تعدیل سطوح عامل رشد شبه انسولین-۱ (IGF-1) را دارد؛ عواملی که در تنظیم توده عضلانی مهم هستند (۳۴). دوره‌های استراحتی نسبتاً کوتاه بین تمرین تناوبی، نیاز به تامین انرژی از طریق دستگاه هوازی را افزایش می‌دهد و سبب افزایش تحویل اکسیژن به عنوان عامل اصلی پیشرفت در ظرفیت هوازی می‌شود. همچنین سرعت

1. Insulin-like growth factor-1

2. Erythropoietin

منابع

1. Rezaeimanesh D. Responses of plasma levels of irisin, follistatin and insulin resistance index to two types of high intensity interval training in overweight men. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2024;16(4):31-40. [In Persian]. <https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.232503.1182>
2. Alimoradi N, Nouroollahi H, Hosseini F. The effect of eight weeks of TRX and CRX exercising on body composition and lipid profile indices in overweight young women. *Journal of Physiologh of Movement & Health*. 2022;2(1):29-40. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.27834603.1401.2.1.3.3>
3. Razavi Dehkordi SM, Keshavarz S, Banaei Borojeni J, Eftekhari E. The effect of eight weeks of combined exercises on the expression of HIF1, VEGF, UCP1 genes, and the body composition of overweight elderly men. *Journal of Research in Behavioural Sciences*. 2024;21(4):729-40. [In Persian]. <http://rbs.mui.ac.ir/article-1-1626-en.html>
4. Akhtegan S, Atashak S, Roshdi Bonab R. The changes of some total antioxidant capacity and lipid peroxidation markers following the combined with high intensity interval training in sedentary postmenopausal women. *The Iranian Journal of Obstetrics, Gynecology and Infertility*. 2022;24(13):70-9. [In Persian]. <https://doi.org/10.22038/ijogi.2022.20045>
5. Foladi F, Azarbayjani MA, Peeri M, Ghazalian F. The effect of Purslane seed supplement and aerobic training on mitochondrial biogenesis markers and DNA damage in kidney tissue in rats toxicated by hydrogen peroxide. *Researches in Sport Sciences and Medical Plants*. 2022;3(9):1-10. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/varzesh.2023.1977919.1049>
6. Jafari M, Matinhomae H, Ahmadabad SR. The effect of eight weeks of aerobic exercise and coriander seed extract on oxidative stress and cellular energy indices of heart tissue in male rats poisoned with hydrogen peroxide. *Complementary Medicine Journal*. 2023;13(1):43-51. [In Persian].
7. Rasouli Fooshazdeh A, Abedi B, Matinhomae H, Farzanegi P. Effects of aerobic exercise and tribulus terrestris extract on some indicators of oxidative stress and apoptosis in lung tissue of male rats poisoned with hydrogen peroxide. *Complementary Medicine Journal*. 2022;12(1):84-99. [In Persian]. <https://doi.org/10.32598/cmja.12.1.1154.1>
8. Mansouridara M, Rajai GhasemGheshlagi N, Heydari F, GHazalian F, Ebrahimi S, Askari R, et al. Randomized double-blind clinical trial examining the high intensity interval training and ellagic acid effects on antioxidant, and oxidative stress factors in Obese women. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2022;21(4):586-99. [In Persian]. <https://doi.org/10.32598/JSMJ.21.4.2515>
9. Izadmehr M, Mogharnasi M, Saghebjo M, Zarban A. The effect of resistance training combined with spirulina consumption on malondialdehyde and total antioxidant capacity in overweight and obese men. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2023;10(1):39-49. [In Persian]. <https://doi.org/10.22049/jahssp.2022.27955.1490>
10. Gauze-Gnagne C, Lohoues E, Monde A, Djinhi J, Camara C, Sess E. Evaluation of the anti-oxidant effet of spirulina on marathon runners in cote D'ivoire. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2015;5:392.
11. Shams SBv, Farzanegi P, Azarbayjani MA. Effects of aerobic exercise and ethanolic extract of purslane seed on markers of oxidative stress and DNA damage in lung tissue of rats poisoned with hydrogen peroxide. *Journal of Animal Physiology and Development*. 2022;16(1):32-47. [In Persian]. <https://doi.org/10.61186/mlj.15.3.40>

12. Mohammad N, Matinhomae H, Hoseini SA. Interactive effect of resistance training and pumpkin seed consumption on the levels of inhibitory (glutathione and ATP) and destructive (cytochrome-C and malon di aldehyde) factors in lung tissue of rats poisoned with hydrogen peroxide. *Journal of Sport Biosciences*. 2022;14(3):65-79. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jsb.2022.343665.1534>
13. Havasali R, Taheri KA, Fatahi F. The effect of high-intensity interval training on changes in antioxidant enzymes of liver tissue in male rats fed with high-fat diet. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences*. 2023;11(1):13-24. [In Persian]. <http://jms.thums.ac.ir/article-1-1157-en.html>
14. Kazemi Tanha M, Nayeibifar S, Ghasemi E, Nosrat Zehi S. Investigating the synergistic effect of Nasturtium officinale extract and High-intensity interval training on fatty acid-binding protein 4 (FABP4) and high-sensitivity C-reactive protein (hs-CRP) in overweight subclinical hypothyroid patients: a rand. *Sport Physiology*. 2023;14(56):177-200. [In Persian]. <https://doi.org/10.22089/SPJ.2022.13463.2214>
15. Salehi Aghdam N, Pouzesh Jadidi R, Azali Alamdari K, Bashiri J, Nourazar MAR. Effects of high intensity interval training and curcumin on blood total antioxidant capacity and hepatic NRF2 and caspase-3 level in rats exposed to arsenic. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2022;10(23):90-103. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2021.3754.1590>
16. Attarzadeh Hosseini SR, Moazzami M, Farahati S, Bahremand M, Sadegh Eghbali F. Effects of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on the total antioxidant capacity, malondialdehyde, and superoxide dismutase in obese/overweight middle-aged women. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2020;22(3):207-13. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16834844.1399.22.3.4.5>
17. Kheirabadi J, Etemad Z, Azizbeygi K, Mohamadzade SK. The effect of eight weeks of high-intensity interval training with caloric restriction and spirulina supplementation on inflammatory factors in heart tissue of rats under high-fat diet. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2023;16(1):67-79. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/joeppa.16.1.67>
18. Khalili S, Nouri R. The effect of eight weeks resistance training on leptin and insulin resistance in obese female. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*. 2013;20(1):59-65. [In Persian]. <http://sjh.umsha.ac.ir/article-1-153-en.html>
19. Gharari Arefi R, Chubineh S, Kordi MR. The effect of a high-intensity interval training on some of factors affecting erythrocyte sedimentation rate in sedentary young men. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2016;3(6):74-83. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2016.67>
20. Momeni M, Nikseresht A, Akbari Z, Daneshi A, Pourkhalili K. Delayed effects of remote limb ischemic preconditioning on maximum oxygen consumption, lactate release and pulmonary function tests in athletes and non-athletes. *Iranian South Medical Journal*. 2016;19(5):819-31. [In Persian]. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.ismj.19.5.819>
21. Kavousian M, Salehi Sahlabadi A, Jafari MJ, Khodakarim S, Rabiei H. Investigation of work ability index (WAI) and its relationship with maximal aerobic capacity (VO2max) among cement industry employer. *Occupational Medicine Quarterly Journal*. 2020;12(2):36-46. [In Persian]. <http://tkj.ssu.ac.ir/article-1-1071-fa.html>
22. Eyni Gandomani E, Reisi J. Effect of 8 weeks high intensity interval training and spirulina supplementation on humoral immune system and body composition in overweight women. *Metabolism and Exercise*. 2020;10(2):165-82. [In Persian]. <https://doi.org/10.22124/jme.2021.17480.202>

23. Afzalpour ME, Abbaszadeh R, Abtahi Eivari H. The effects of short-term selenium supplementation on the serum hydrogen peroxide (H₂O₂) and glutathione (GSH) in inactive male students after an exhaustive acute Aerobic protocol. *Journal of Sports and Biomotor Sciences*. 2018;10(19):39-49. [In Persian]. https://sbs.hsu.ac.ir/article_161204.html
24. Khodadadi S, Hassani A, Naderi A. Effect of 4 weeks HIIT with spirulina supplementation intake on plasma total antioxidant capacity (TAC) and lipid peroxidation (MDA) in women with type 2 diabetes. *Iranian Journal of Diabetes and Obesity*. 2022;14(4):210-8. <https://doi.org/10.18502/ijdo.v14i4.11228>
25. Raoufi Sangachin A, Abdi A, Barari A. Effect of endurance training and spirulina supplementation on inflammatory cytokines level in overweight men: a clinical trial study. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*. 2022;24(2):1-9. [In Persian]. <http://goums.ac.ir/journal/article-1-4038-en.html>
26. Sagara T, Nishibori N, Kishibuchi R, Itoh M, Morita K. Non-protein components of *Arthrospira* (Spirulina) platensis protect PC12 cells against iron-evoked neurotoxic injury. *Journal of Applied Phycology*. 2015;27:849-55. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0388-1>
27. Supriya R, Delfan M, Saeidi A, Samaie SS, Al Kiyumi MH, Escobar KA, et al. Spirulina supplementation with high-intensity interval training decreases adipokines levels and cardiovascular risk factors in men with obesity. *Nutrients*. 2023;15(23):4891. <https://doi.org/10.3390/nu15234891>
28. Shyam R, Singh SN, Vats P, Singh VK, Bajaj R, Singh SB, et al. Wheat grass supplementation decreases oxidative stress in healthy subjects: a comparative study with spirulina. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 2007;13(8):789-92. <https://doi.org/10.1089/acm.2007.713>
29. Karimiasl A, Ghasemikalateh F, Rahmani A, Norouzi HR. The effect of high intensity interval training and endurance training along with jujube supplement consumption on the state of oxidative stress and antioxidant capacities of testicular tissue of immature male Wistar Rats. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2023;10(1):67-82. [In Persian]. <https://doi.org/10.22049/jahssp.2022.28004.1498>
30. Bogdanis G, Stavrinou P, Fatouros I, Philippou A, Chatzinikolaou A, Draganidis D, et al. Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food and Chemical Toxicology*. 2013;61:171-7. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046>
31. Khani M, Zolfi HR, Niknam Z. The effect of two-week high intensity interval training (HIIT) with Thyme supplementation on lipid profile, oxidative stress, body composition, and aerobic capacity of the obese and overweight women. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2023;10(2):27-39. [In Persian]. <https://doi.org/10.22049/jahssp.2023.28299.1541>
32. Yusefpour M, Qasim N, Agha Ali Rahmani A. The effect of a period of intense intermittent exercise on the amount of total antioxidant capacity and malondialdehyde in the liver tissue of male Wistar rats. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*. 2017;22(5):103-10.
33. Hernández-Lepe MA, Olivas-Aguirre FJ, Gómez-Miranda LM, Hernández-Torres RP, Manríquez-Torres JdJ, Ramos-Jiménez A. Systematic physical exercise and Spirulina maxima supplementation improve body composition, cardiorespiratory fitness, and blood lipid profile: Correlations of a randomized double-blind controlled trial. *Antioxidants*. 2019;8(11):507. <https://doi.org/10.3390/antiox8110507>

34. Delfan M, Saeidi A, Supriya R, Escobar KA, Laher I, Heinrich KM, et al. Enhancing cardiometabolic health: unveiling the synergistic effects of high-intensity interval training with spirulina supplementation on selected adipokines, insulin resistance, and anthropometric indices in obese males. *Nutrition & Metabolism*. 2024;21(1):11. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00785-0>
35. Nobari H, Gandomani EE, Reisi J, Vahabidelshad R, Suzuki K, Volpe SL, et al. Effects of 8 weeks of high-intensity interval training and spirulina supplementation on immunoglobulin levels, cardio-respiratory fitness, and body composition of overweight and obese women. *Biology*. 2022;11(2):196. <https://doi.org/10.3390/biology11020196>
36. Gholamimoghadam S, Mogharnasi M, Dehghani K. The effect of spirulina supplementation and circuit resistance training (CRT) on plasma values of resistin, and some indicators of body composition of overweight, and obese police officers. *Journal of Police Medicine*. 2021;10(3):149-58. [In Persian]. <http://jpmed.ir/article-1-994-en.html>