

## The effect of aerobic exercise on C-reactive protein and interleukin-6 in overweight and obese children and adolescents: A meta-analysis study

Omid Zafarmand<sup>1</sup>, Fatemeh Kazeminasab<sup>2</sup>, Rahman Soori<sup>\*3</sup>

1. MSc in Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Sciences, School of Humanities, University of Yasouj, Yasouj, Iran.
2. Assistant Professor at Department of Physical Education and Sport Sciences, School of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran.
3. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran.

**Received:**

**Revised:**

**Accepted:**

### Extended Abstract

**Background and Aim:** Rapid lifestyle changes have led to altered dietary patterns and reduced physical activity among children and adolescents, increasing their risk of weight gain and obesity. Obesity is recognized as a major contributor to chronic inflammation. Excessive adipocyte growth and elevated inflammatory factors in the body exacerbate this chronic inflammatory state, which can subsequently lead to metabolic disorders and cardiovascular diseases. Inflammatory markers such as C-reactive protein (CRP) and interleukin-6 (IL-6) are key biological consequences of obesity. Interleukins are a group of cytokines predominantly produced by white blood cells and exert their effects on other leukocytes. They are secreted in response to inflammatory stimuli by cells including monocytes, macrophages, endothelial cells, and fibroblasts, functioning as intercellular messengers. IL-6 is one of the most important pro-inflammatory cytokines, produced by immune cells, and plays a central role in regulating metabolic responses and insulin resistance. IL-6 also stimulates the liver to secrete acute-phase proteins, such as CRP.

CRP, as an inflammatory marker, has a dual role in both the early and late stages of inflammation: in the early phase, it marks damaged cells, whereas in the later phase, it helps suppress inflammatory cytokines and supports tissue repair. Evidence also suggests that IL-6 can directly influence TNF- $\alpha$  gene expression. Aerobic exercise, by enhancing fat oxidation, improving insulin sensitivity, and reducing inflammatory markers, contributes to the improvement of cardiometabolic health. However, sedentary behavior and the pervasive use of technology have reduced physical activity levels among children and adolescents. This meta-analysis aimed to investigate the effects of aerobic exercise on CRP and IL-6 in overweight and obese children and adolescents

### Materials and Methods:

This study is a systematic review and meta-analysis conducted in accordance with the Cochrane and PRISMA guidelines. A comprehensive, multi-step systematic search was performed in the PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Magiran, and SID databases from inception to March 10, 2025, to identify all interventional studies examining the effects of aerobic exercise on CRP and IL-6 in overweight and obese children and adolescents. Both Persian and English keywords were used, including MeSH terms. Key terms included various types of aerobic exercise such as ("aerobic exercise," "interval training," "high-intensity interval training," "aerobic interval exercise," "speed interval training," "interval exercise," "continuous training"), along with ("CRP," "IL-6") and ("children," "adolescents," "overweight," "obesity").

Inclusion criteria comprised published randomized controlled trials in Persian or English conducted on overweight or obese children and adolescents, comparing aerobic exercise interventions with a control group, measuring plasma levels of CRP and IL-6, and providing pre- and post-intervention means and standard deviations for both intervention and control groups. Exclusion criteria included animal studies, conference abstracts, theses, crossover studies, studies without a control group, or studies that did not report pre- and post-intervention plasma CRP and IL-6 data. For studies with incomplete data, corresponding authors were contacted via email, and studies were excluded if post-intervention data were not provided.

Extracted data included means, standard deviations, and sample sizes, and analyses were performed using a random-effects model. The effects of aerobic exercise on CRP and IL-6 were calculated using SMD and Hedges'  $g$  to correct for small sample bias, with 95% confidence intervals reported. Study heterogeneity was assessed using the  $I^2$  index and interpreted according to Cochrane guidelines as follows: low heterogeneity (<25%), mild heterogeneity (25–50%), moderate heterogeneity (50–75%), and high heterogeneity (>75%). A fixed-effects model was used for low or negligible heterogeneity, whereas a random-effects model was applied for moderate or high heterogeneity. Publication bias was evaluated using funnel plots and Egger's test, and sensitivity analyses were conducted by sequentially removing individual studies. All analyses were performed using CMA-2 software.

**Findings:** IN total, 15 studies (comprising 18 aerobic exercise interventions) involving 551 overweight and obese children and adolescents were included in the meta-analysis. The results showed that aerobic exercise interventions led to a reduction in CRP



levels compared to the control group, approaching statistical significance (SMD= -0.433, 95% CI: -0.867 to 0.001,  $p=0.050$ ). However, aerobic exercise had a non-significant effect on IL-6 levels compared to the control group (SMD= -0.468, 95% CI: -1.268 to 0.332,  $p=0.251$ ). The  $I^2$  test indicated that heterogeneity among the studies was high and significant for both inflammatory markers CRP ( $p=0.001$ ,  $I^2=71.922$ ) and IL-6 ( $p=0.001$ ,  $I^2=91.728$ ). The Egger's test showed that there was no significant publication bias for either CRP ( $p=0.057$ ) or IL-6 ( $p=0.192$ ). The assessment of study quality using the PEDro tool also indicated that the studies scored between 6 and 8.

**Conclusion:** Based on the results of this meta-analysis, aerobic exercise in overweight and obese children and adolescents led to a reduction in CRP levels, although this decrease was marginally significant. In contrast, no significant change was observed in IL-6 levels. These findings suggest that aerobic activity may have a limited effect on inflammatory markers, and achieving more conclusive results may require further studies, potentially with longer interventions or combined exercise approaches.

**Keywords:** Aerobic exercise, C-reactive protein, Interleukin-6, Children, Obesity.

**Ethical Considerations:** The authors of this article declare that they have no personal or financial interests related to the publication of this article.

**Compliance with ethical guidelines:** This study, as a meta-analysis, only utilized published data and did not collect any new personal data from participants. Therefore, obtaining direct informed consent or ethical committee approval for this study was not required. All studies included in the meta-analysis were conducted in accordance with their respective ethical guidelines.

**Funding:** The authors of this article declare that they have no personal or financial interests related to the publication of this article.

**Conflicts of interest:** The authors have no financial or personal conflicts of interest related to this study.

**Acknowledgments:** The authors hereby sincerely acknowledge and appreciate the cordial cooperation of the researchers who contributed quantitative data, playing a significant role in the completion of this meta-analysis study.

**Corresponding Authors, Address:** Tehran, Kargar-e Shomali Street, University of Tehran, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Soori@ut.ac.ir

مطالعات کاربردی در ورزش  
فصلنامه علمی-پژوهشی  
پایه نهم  
دانشگاه تهران  
شماره ۱۳۳، زمستان ۱۳۹۸  
صفحه ۱۰۰-۱۰۷



## تأثیر تمرینات هوازی بر پروتئین واکنشگر C و اینترلوکین ۶ در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق: یک مطالعه فراتحلیل

### چکیده

**زمینه و هدف:** چاقی در کودکان و نوجوانان رو به افزایش است و با التهاب مزمن و افزایش نشانگرهایی مانند پروتئین واکنشگر C (CRP) و اینترلوکین-۶ (IL-6) همراه است. تمرینات هوازی می‌توانند با بهبود سلامت قلبی-عروقی و کاهش وزن، این نشانگرها را تحت تأثیر قرار دهند. این فراتحلیل با هدف بررسی اثر تمرینات هوازی بر CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق انجام شده است. **روش تحقیق:** جستجوی مقالات تا ۲۰ اسفندماه ۱۴۰۳ (۱۰ مارچ ۲۰۲۵) در پایگاه‌های PubMed، Web of Science، Scopus، Google Scholar، Magiran، NoorMags و Sid انجام شد. برای محاسبه اندازه اثر، از تفاوت میانگین وزنی (SMD) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار CMA2 استفاده گردید. **یافته‌ها:** در مجموع ۱۵ مطالعه (با ۱۸ مداخله تمرین هوازی) روی ۵۵۱ آزمودنی کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق فراتحلیل شدند و نتایج نشان داد مداخله تمرینات هوازی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق سبب کاهش سطح CRP نزدیک سطح معنی داری [ $SMD = -0.433$  (الی  $0.001$ ،  $P = 0.050$ )] نسبت به گروه شاهد همراه شد. اما تمرینات هوازی سبب تغییر غیر معنی دار IL-6 [ $SMD = -0.468$  (الی  $0.332$ ،  $p = 0.251$ )] نسبت به گروه شاهد شد. آزمون  $I^2$  نشان داد که ناهمگنی میان مطالعات برای هر دو شاخص التهابی CRP ( $I^2 = 71.922$ ،  $p = 0.001$ ) و IL-6 ( $I^2 = 91.728$ ،  $p = 0.001$ ) بالا و معنادار است. نتیجه آزمون Egger نشان داد که برای هر دو شاخص CRP ( $p = 0.057$ ) و IL-6 ( $p = 0.192$ ) سوگیری انتشار معنی داری وجود ندارد.

**نتیجه‌گیری:** تمرینات هوازی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه‌وزن و چاق باعث کاهش سطح CRP (نزدیک معنی داری) شد، در حالی که تغییر غیرمعنی داری در IL-6 مشاهده شد، که نشان‌دهنده تأثیر محدود این مداخلات بر شاخص‌های التهابی است و نیاز به مطالعات طولانی‌تر و مداخلات ترکیبی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تمرین هوازی، پروتئین واکنشگر C، اینترلوکین ۶، نوجوان، چاقی.

ویدئو آپلود شده



تغییرات سریع سبک زندگی، منجر به دگرگونی الگوی تغذیه و کاهش فعالیت بدنی در کودکان و نوجوانان شده (۱) و آنان را در معرض خطر چاقی قرار داده است (۲). در ایران نیز، طبق مطالعه قند و لیپید تهران، حدود ۱۰ درصد نوجوانان به دلیل شیوع بالای چاقی به سندرم متابولیک مبتلا هستند (۳). این روند جهانی، طی سه دهه اخیر با افزایش ۸ درصدی چاقی و بیش از ۴ میلیون مرگ و میر همراه بوده است (۴). این مشکل در بین کودکان و جوانان جهان نیز گسترش یافته است (۵). چاقی به عنوان یکی از عوامل اصلی بروز التهاب مزمن شناخته می‌شود. رشد زیاد سلول‌های چربی و افزایش فاکتورهای التهابی در بدن، سبب تشدید التهاب مزمن می‌گردد (۶). این التهاب مزمن، شرایطی را ایجاد می‌کند که به بروز اختلالات متابولیکی و بیماری‌های قلبی-عروقی منجر می‌شود (۷، ۸).

فاکتورهای التهابی مانند پروتئین واکنشگر C (CRP) و اینترلوکین ۶ (IL-6)، از جمله پیامدهای زیستی چاقی هستند (۶). اینترلوکین‌ها گروهی از سایتوکین‌ها هستند که عمدتاً توسط سلول‌های سفید خون تولید شده و بر سایر لکوسیت‌ها اثر می‌گذارند. آن‌ها در پاسخ به محرک‌های التهابی از سلول‌هایی مانند مونوسیت‌ها، ماکروفاژها، سلول‌های اندوتلیال و فیبروبلاست‌ها ترشح شده و به عنوان پیام‌رسان بین سلولی عمل می‌کنند (۹). عامل IL-6 یکی از مهم‌ترین سایتوکین‌های التهابی است (۹) که توسط سلول‌های ایمنی تولید شده و در تنظیم پاسخ‌های متابولیکی و مقاومت انسولینی نقش دارد (۱۰). این مولکول با تحریک کبد، موجب ترشح پروتئین‌های فاز حاد مانند CRP می‌شود (۱۱). CRP نیز به عنوان یک شاخص التهابی، نقش دوگانه‌ای در مراحل اولیه و پایانی التهاب ایفا می‌کند؛ به گونه‌ای که در مراحل ابتدایی با علامت‌گذاری سلول‌های آسیب‌دیده و در مراحل بعدی با مهار سایتوکین‌های التهابی و کمک به ترمیم بافت عمل می‌کند. همچنین، شواهدی وجود دارد که IL-6 می‌تواند مستقیماً بر بیان ژن TNF- $\alpha$  مؤثر باشد (۱۱).

فعالیت بدنی منظم، به ویژه تمرینات هوازی، در پیشگیری از چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن مؤثر است (۱۲-۱۴). این تمرینات با افزایش اکسیداسیون چربی، بهبود حساسیت انسولین و کاهش شاخص‌های التهابی، به ارتقاء سلامت قلبی-متابولیکی کمک می‌کنند. با این حال، سبک زندگی کم‌تحرک و استفاده مداوم از تکنولوژی منجر به کاهش تحرک در میان کودکان و نوجوانان شده است (۱۷-۲۰). تمرینات تناوبی با شدت بالا<sup>۳</sup> (HIIT) شامل دوره‌های متناوب تمرین با شدت بالا و استراحت است، که منجر به بهبود سریع‌تر ظرفیت فیزیکی و کاهش بیشتر التهاب می‌شود، در حالی که تمرینات تداومی<sup>۴</sup> (MIT) شامل فعالیت با شدت ثابت و یکنواخت برای مدت زمان طولانی است و بیشتر بر بهبود استقامت و سلامت قلبی-عروقی تأثیر دارد (۱۵، ۱۶). به همین دلیل، تمرینات HIIT نیز به عنوان روشی جایگزین در مطالعات اخیر بررسی شده‌اند (۱۷).

یافته‌های مطالعات بالینی در زمینه تأثیر تمرین ورزشی بر CRP و IL-6 متناقض است. برای مثال، سوری و دیگران (۲۰۲۱) بیان کردند که پس از ۱۰ هفته تمرین تناوبی، کاهش معنی‌دار IL-6 در پسران نوجوان چاق مشاهده شد (۱۸). همچنین، وکیلی و دیگران (۲۰۲۱) پس از ۸ هفته تمرین تناوبی و تداومی، بهبود معنی‌دار CRP و IL-6 را گزارش کردند (۱۹). در مقابل، واکسونسلوس و دیگران<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) پس از ۱۲ هفته تمرین هوازی تغییر معنی‌دار در سطوح CRP و IL-6 مشاهده نکردند (۲۰). همچنین، کیل و دیگران<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) گزارش کردند که ۸ هفته تمرین هوازی تأثیری بر CRP و IL-6 نداشت (۲۱). در مطالعه فراتحلیل لی و دیگران<sup>۷</sup> (۲۰۲۴)، ۲۸ مطالعه با ۱۰۱۰ آزمودنی کودکان و نوجوانان چاق را ارزیابی کردند، دریافتند که تمرینات ورزشی با کاهش معنی‌دار CRP و IL-6 همراه است (۱۶).

اگرچه محدودیت‌های موجود در مطالعات پیشین به طور مفصل اشاره شده است، اما انجام یک فراتحلیل جدید همچنان ضروری به نظر می‌رسد. این ضرورت به دلیل چند عامل است: نخست، بسیاری از مطالعات پیشین فاقد گروه‌های شاهد بودند که این امر بر دقت و اعتبار نتایج تأثیر می‌گذارد. دوم، تفاوت‌های معنی‌داری در نوع و شدت تمرینات ورزشی به کار گرفته شده در این مطالعات وجود دارد که ممکن است موجب نتایج متناقض گردد. سوم، بیشتر این مطالعات تأثیرات تمرینات ورزشی را بر جمعیت‌های مختلف سنی و جمعیت‌شناختی تفکیک نکرده‌اند. چهارم، استفاده از داده‌های جدیدتر در مطالعات اخیر می‌تواند به شواهد موجود افزوده و دقت نتایج را افزایش دهد.

1. C - Reactive Protein

2. Interleukin-6

3. High-intensity interval training

4. Moderate-intensity continuous training

5. Vasconcellos & et al

6. Kelly & et al

7. Li & et al



علاوه بر این، عدم توجه به اهمیت دوره‌های کودکی و نوجوانی در مطالعات قبلی از دیگر نقاط ضعف است. این دوره از زندگی به دلیل رشد سریع، تغییرات هورمونی و شکل‌گیری عادات، حساس‌ترین زمان برای مداخله‌های موثر است و اثرات تمرینات ورزشی در این سنین ممکن است با سایر گروه‌های سنی متفاوت باشد. در نهایت، مقایسه دقیق و مستقیم اثرات تمرینات هوازی با گروه‌های شاهد در فراتحلیل جدید می‌تواند به درک بهتر و شفاف‌تری از تأثیرات این تمرینات بر شاخص‌های التهابی مانند CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان چاق منجر شود.

### روش تحقیق

این پژوهش از نوع مطالعات مروری فراتحلیل است که براساس دستورالعمل کاکرین (Cochrane) و پریزما (Prisma) انجام شده است (۲۲، ۲۳). جستجوی مطالعات برای مقالات انگلیسی زبان در پایگاه‌های اطلاعاتی پابمد<sup>۱</sup>، اسکوپوس<sup>۲</sup>، وب او ساینس<sup>۳</sup> و گوگل اسکالر<sup>۴</sup> و همچنین برای مقالات فارسی زبان در پایگاه‌های اطلاعاتی گوگل اسکالر، ایرانداک<sup>۵</sup>، مگیران<sup>۶</sup>، نورمگز<sup>۷</sup> و جهاد دانشگاهی<sup>۸</sup> نیز انجام شد. همچنین، فهرست منابع مقالات استخراج شده نیز مورد جستجوی دستی قرار گرفت. بازه زمانی جستجو از آغاز تا ۲۰ اسفندماه ۱۴۰۴ (۱۰ مارچ ۲۰۲۵) در نظر گرفته شد. برای شناسایی مقالات مرتبط، از کلیدواژه‌ها و اصطلاحات موضوعی (MeSH) به دو زبان فارسی و انگلیسی استفاده گردید. مهم‌ترین واژگان جستجو شامل:

("Aerobic Training" OR "HIIT" OR "Interval Training" OR "Aerobic Interval Training" OR "Aerobic Interval" OR "Intermittent Training" OR "High Intensity Intermittent" OR "High Intensity Interval Exercise" OR "High Intensity" OR "High Intensity Interval Training" OR "Sprint Interval Exercise" OR "SIT" OR "Moderate-Intensity Continuous Exercise") AND ("C-reactive protein" OR "CRP" OR "Interleukin-6" OR "IL-6") AND ("Children" OR "Adolescent" OR "Overweight" OR "Obese" OR "Obesity").

"تمرین هوازی"، "تمرین تناوبی"، "تمرین تناوبی سرعتی"، "تمرین اینتروال هوازی"، "تمرین اینتروال سرعتی"، "تمرین اینتروال"، "تمرین تداومی" و ("پروتئین واکنشگر C"، "اینترلوکین ۶") و ("کودکان"، "نوجوان"، "اضافه وزن"، "چاق"). تمامی مراحل جستجو به صورت مستقل توسط هر سه محقق انجام شد و در موارد عدم توافق، تصمیم‌گیری نهایی از طریق تبادل نظر گروهی صورت گرفت.

معیارهای ورود به مطالعه فراتحلیل حاضر شامل: ۱- مطالعات کارآزمایی بالینی تصادفی شده RCT<sup>۱۰</sup>، منتشر شده به زبان فارسی یا انگلیسی. ۲- مطالعات انجام شده بر روی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق. ۳- مطالعات بررسی کننده اثر تمرین هوازی در برابر گروه شاهد. ۴- مطالعات اندازه‌گیری کننده بر روی سطوح پلاسمایی CRP و IL-6. ۵- دارا بودن داده‌های میانگین و انحراف استاندارد برای پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای مذکور برای آزمودنی‌های گروه‌های تمرین هوازی و شاهد بودند. معیارهای خروج شامل ۱- مطالعات انجام گرفته بر روی حیوانات، ۲- مطالعات ارئه شده در همایش، ۳- پایان‌نامه‌ها، ۴- مطالعات مقطعی (Crossover)، ۵- مطالعاتی که اثر تمرین هوازی بدون گروه شاهد را مورد بررسی قرار دادند، ۶- مطالعاتی که داده پیش‌آزمون و پس‌آزمون اثر تمرین هوازی بدون گروه شاهد بر روی سطوح پلاسمایی CRP و IL-6 را گزارش نکردند. نویسندگان مطالعه حاضر به نویسنده مسئول مقالاتی که داده ناقص داشتند، ایمیل ارسال کردند و در صورتی که داده پس‌آزمون ارسال نشد، مقاله حذف گردید.

اطلاعات مربوط به نوع مطالعه، نویسنده اول و سال انتشار، کشور نویسنده اول، تعداد نمونه، ویژگی‌های آزمودنی‌ها شامل سن، شاخص توده بدن، جنسیت و توصیف پروتکل تمرین (نوع مداخله، طول مداخله، تعداد جلسات در هفته و شدت تمرین) استخراج شد (۲۴، ۲۵). در صورت نبود وجود داده‌های کافی برای انجام فراتحلیل، از طریق ایمیل با نویسنده مسئول مکاتبه صورت گرفت و داده‌های مورد نیاز مطالعه فراتحلیل حاضر دریافت شد. همچنین در صورت عدم پاسخگویی یا عدم دریافت از سوی نویسنده مسئول مقاله،

1. PubMed

2. Scopus

3. Web Of Science

4. Google Scholar

5. Irandon

6. Magiran

7. Noor Mags

8. Sid

9. March

10. Randomized controlled trial



استخراج داده‌ها از نمودار مقالات با استفاده از Getdata یا تخمین انحراف استاندارد ( $SD^1$ ) از خطای استاندارد میانگین ( $SEM^2$ ) صورت گرفت (۲۶، ۲۷). استخراج اطلاعات توسط هر سه محقق به‌طور مستقل انجام شد و عدم توافق مجدداً با تبادل نظر تصمیم‌گیری گردید (جدول ۱).

از چک لیست پدرو<sup>۳</sup> به منظور ارزیابی کیفیت مطالعات وارد شده در فراتحلیل حاضر استفاده شد (۲۸، ۲۹). این ارزیابی شامل ۱۱ معیار می‌باشد. با توجه به این‌که معیارهای کور بودن (blinding) شرکت کنندگان و مداخله‌گر برای مداخلات ورزشی قابل اجرا نبود، از ارزیابی کنار گذاشته شدند. بنابراین ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از ۹ معیار انجام شد. معیارهای ارزیابی شامل موارد زیر بود: (۱) ضوابط واجد شرایط بودن شرکت کنندگان مشخص بود، (۲) اختصاص شرکت کنندگان گروه‌های مختلف به صورت تصادفی انجام شده باشد، (۳) شرکت کنندگان نسبت به گروه بندی‌هایشان آشنایی نداشته باشند، (۴) گروه‌ها در ابتدا از نظر وزن بدن یکسان باشند، (۵) ارزیابی یکسو کور برای متغیر اصلی وجود داشته باشد (blinding of all assessors)، (۶) تعداد افراد خارج شده از پژوهش کمتر از ۱۵ درصد شرکت کنندگان باشد، (۷) تجزیه و تحلیل به صورت intention to treat (ITT) انجام شده باشد، (۸) تفاوت آماری بین گروهی برای متغیر اصلی گزارش شده باشد، (۹) میانگین، انحراف معیار و میزان معنی داری (p value) گزارش شده باشد. به تمام سؤالات چک لیست Pedro، با دو گزینه‌ی بله (نمره یک) و یا خیر (نمره صفر) پاسخ داده شد و امتیاز حداقل صفر و حداکثر نه بود که در آن ارزش عددی بالاتر، نمایانگر کیفیت بالاتر پژوهش بود (جدول ۲). ارزیابی کیفیت مطالعات توسط هر سه محقق به صورت مستقل انجام شد.

مطالعه فراتحلیل حاضر برای تعیین بررسی اثر تمرینات هوازی بر CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق صورت گرفت. در این مطالعه، برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از میانگین، انحراف استاندارد و حجم نمونه استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل اثر تصادفی انجام شد، برای این منظور از SMD از Hedges'g استفاده شد این انتخاب به دلیل تصحیح انحراف معیار در نمونه‌های کوچک انجام شد. برای متغیرهای سطوح پلاسمایی CRP و IL-6 با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (CI) محاسبه گردید. جهت تعیین ناهمگونی (عدم تجانس) مطالعات، از آزمون ( $I^2$ ) استفاده شد و تفسیر آماری ( $I^2$ ) مطابق با دستورالعمل کوکران به ترتیب: ناهمگونی کم (کمتر از ۲۵ درصد)؛ ناهمگونی خفیف (۲۵ تا ۵۰ درصد)؛ ناهمگونی متوسط (۵۰ تا ۷۵ درصد) و ناهمگونی بالا (بیشتر از ۷۵ درصد) تفسیر شد (۳۰). براساس میزان  $I^2$ ، در صورتی که ناهمگونی بین مطالعات کم یا ناچیز باشد با ۲۵ درصد از مدل اثر ثابت استفاده شد، در حالی که در صورت ناهمگونی متوسط ۵۰ تا ۷۵ درصد یا بیشتر از ۷۵ درصد از مدل اثر تصادفی برای تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد تا تغییرات بین مطالعات به‌طور مناسب لحاظ گردد (۳۰). همچنین، سوگیری انتشار با استفاده از تفسیر بصری از فونل پلات<sup>۴</sup> و تست ایگر<sup>۵</sup> به عنوان یک تعیین کننده ثانویه استفاده شد، در صورتی که p کمتر از ۰/۰۵ بود، سوگیری انتشار معنی دار در نظر گرفته شد (۳۱). آزمون‌های تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار CMA<sup>۶</sup> نسخه دو انجام گردید (۳۲) در ادامه تحلیل حساسیت از طریق روش خارج کردن یک به یک مطالعات انجام شد.

### یافته‌ها

براساس جست‌وجوی جامع در پایگاه‌های اطلاعات علمی تا تاریخ ۲۰ اسفندماه ۱۴۰۳ (2025 March 10)، تعداد ۱۰۶۱ مقاله شناسایی شد؛ از این میان، ۱۰۳۸ مقاله از پایگاه‌های بین‌المللی شامل Scopus، PubMed، Web of Science و Google Scholar که ۲۳ مقاله از پایگاه‌های داخلی مانند Google Scholar، Magiran، NoorMags و Sid بازیابی گردید. در مرحله نخست، با حذف ۷۴۹ مقاله تکراری، تعداد ۳۱۲ مقاله باقی ماند. در مرحله دوم و پس از بررسی عنوان و چکیده، ۲۸۸ مقاله به دلایل مختلف از جمله عدم ارتباط موضوعی، حذف شدند. سپس ۲۴ مقاله وارد مرحله بررسی کامل شدند که از این تعداد نیز ۹ مقاله به دلیل فقدان داده‌های پس‌آزمون، عدم وجود متغیرهای پژوهش یا نبود گروه کنترل، کنار گذاشته شدند. در نهایت، ۱۵ مقاله که شرایط لازم برای ورود به مطالعه را داشتند، در تجزیه و تحلیل کیفی این فراتحلیل لحاظ شدند (شکل ۱).

<sup>1</sup> . Standard deviation

<sup>2</sup> . Standard Error of the Mean

<sup>3</sup> . Pedro

<sup>4</sup> . Funnel Plot

<sup>5</sup> . Egger

<sup>6</sup> . Comprehensive Meta-Analysis



**ویژگی‌های توصیفی آزمودنی‌ها:** در مجموع تعداد ۵۵۱ آزمودنی کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مطالعات مورد بررسی قرار گرفتند. در گروه مداخله تمرینات هوازی تعداد ۳۱۰ آزمودنی با میانگین سنی  $1/11 \pm 13/31$  سال و شاخص توده بدنی  $2/62 \pm 29/41$  کیلوگرم بر متر مربع و در گروه شاهد تعداد ۲۴۱ آزمودنی با میانگین سنی  $1/14 \pm 12/85$  سال و شاخص توده بدنی  $3/47 \pm 30/05$  کیلوگرم بر متر مربع بودند. در این مطالعه فراتحلیل، گروه‌های شاهد در مطالعات وارد شده هیچ‌گونه تمرین ورزشی انجام نداده بودند. حداقل تعداد شرکت کنندگان در مطالعات ۱۹ نفر (۲۱) و حداکثر ۷۲ نفر (۳۳) بود (جدول ۱).

**ویژگی پروتکل‌های تمرینی:** در مجموع ۱۵ مطالعه (با ۱۸ مداخله تمرین هوازی) و تعداد ۵۵۱ آزمودنی کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق وارد مطالعه فراتحلیل حاضر شدند. حداقل مدت مداخله تمرینات هوازی در هر جلسه حداقل ۱۵ دقیقه (۳۴) و حداکثر ۶۰ دقیقه (۳۵، ۳۰) بود. مدت مداخله تمرینات هوازی حداقل ۴ هفته (۳۶) و حداکثر ۱۲ هفته (۲۰، ۳۷-۳۹) بود که تعداد جلسات مداخله تمرینات هوازی در هر هفته حداقل ۲ جلسه (۳۶، ۳۸) و حداکثر ۴ جلسه (۲۱، ۳۳) می‌باشد که حداقل شدت تمرینات هوازی با شدت ۶۰ تا ۶۵ درصد ضربان قلب بیشینه (۱۹) و حداکثر شدت تمرینات هوازی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه (۳۷، ۴۰، ۴۱) بود (جدول ۱).

پایگاه نشر ویدئو پایش شده

## مطالعات کاربردی

# علوم زیست در ورزش

نتایج حاصل از جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی انگلیسی  
تعداد: ۱۰۳۸

نتایج حاصل از جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی فارسی  
تعداد: ۲۳

تعداد: ۵۴۳ Web of science  
تعداد: ۲۱ Google Scholar  
تعداد: ۲۶۶ PubMed  
تعداد: ۲۰۸ Scopus

تعداد: ۲ Noor Magiran  
تعداد: ۸ Google Scholar  
تعداد: ۳ Magiran  
تعداد: ۳ Irandon  
تعداد: ۷ Sid

نتایج حاصل از جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی انگلیسی و فارسی  
تعداد: ۱۰۶۱

تعداد مقالات  
تکراری حذف شده  
تعداد: ۷۴۹

تعداد مقالات بعد از حذف مقالات تکراری  
تعداد: ۳۱۲

تعداد مقالاتی که از مطالعه خارج شده‌اند به عدم ارتباط با موضوع یا دسترس نبودن متن کامل مقاله  
تعداد: ۲۸۸

تعداد مقالاتی که براساس چکیده و عنوان غربال شده‌اند  
تعداد: ۲۴

تعداد مقالات کاملی که از مطالعه خارج می‌شوند به دلایل: عدم داده پس آزمون، عدم وجود متغیرهای پژوهش، عدم وجود گروه شاهد  
تعداد: ۹

تعداد مقالاتی که به دلیل واجد شرایط بودن مورد مطالعه قرار گرفت  
تعداد: ۱۵

مقالاتی که از لحاظ کیفی مناسب بودند و وارد فراتحلیل شدند  
تعداد: ۱۵

شکل ۱: مراحل جستجو و نحوه بررسی مقالات



## جدول ۱: ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل ورزشی

محققان - سال انتشار	کشور	نمونه (جنسیت)	آزمودنی‌ها	سن (سال)	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع) انحراف معیار $\pm$ میانگین	متغیرها اندازه‌گیری شده	توصیف مداخلات تمرینی و شاهد
پنیا و دیگران ۲۰۲۳ (۳۵)	آمریکا	۶۴ دختر و پسر نوجوان	چاق و مبتلا به دیابت نوع دو	مداخله (۴۰ نفر): $۱۳/۴۰ \pm ۱/۴۰$ شاهد (۲۴ نفر): $۱۳/۲۰ \pm ۱/۴۰$	مداخله: $۳۲/۱۰ \pm ۲/۷۰$ شاهد: $۶۳/۳۰ \pm ۲۳/۷۰$	IL-6	تمرین هوازی به مدت ۸ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه اجرا شد.
ولی پور و دیگران ۲۰۲۲ (۳۷)	ایران	۲۴ پسر نوجوان	اضافه وزن و چاق	مداخله (۱۲ نفر): $۱۴/۰۰ \pm ۱/۰۰$ شاهد (۱۲ نفر): $۱۴/۰۰ \pm ۱/۰۰$	مداخله: $۲۷/۲۳ \pm ۱/۷۰$ شاهد: $۳/۶۴ \pm ۲۸/۰۹$	CRP	تمرین هوازی تناوبی به مدت ۱۲ هفته، در ۳ جلسه در هفته و به مدت ۳۰ تا ۵۵ دقیقه در هر جلسه، با شدت ۸۵ تا ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه اجرا شد.
نامبی و دیگران ۲۰۲۲ (۳۳)	عربستان سعودی	۷۲ دختر و پسر کودک	چاق	مداخله (۳۶ نفر): $۱۰/۱۲ \pm ۱/۲۰$ شاهد (۳۶ نفر): $۱۰/۵۶ \pm ۱/۴۰$	مداخله: گزارش نشده است شاهد: گزارش نشده است	IL-6	تمرین هوازی تناوبی به مدت ۸ هفته، در ۴ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۰ دقیقه، با شدت ۵۰ تا ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه اجرا شد.
سوری و دیگران ۲۰۲۱ (۱۸)	ایران	۲۶ پسر نوجوان	چاق	مداخله (۱۳ نفر): $۱۳/۴۰ \pm ۰/۷۱$ شاهد (۱۳ نفر): $۱۳/۴۰ \pm ۰/۷۱$	مداخله: گزارش نشده است شاهد: گزارش نشده است	IL-6	تمرین هوازی تداومی به مدت ۱۰ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۲۵ تا ۴۵ دقیقه، با شدت ۶۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب ذخیره اجرا شد.
وکیلی و دیگران ۲۰۲۱ (۱۹)	ایران	۳۰ پسر نوجوان	اضافه وزن	مداخله (۱۰ نفر): $۱۴/۸۸ \pm ۱/۲۶$ مداخله (۱۰ نفر): $۱۴/۳۳ \pm ۱/۶۵$ شاهد (۱۰ نفر): $۱۴/۳۳ \pm ۱/۵۸$	مداخله ۱: $۲۶/۲۷ \pm ۱/۳۹$ مداخله ۲: $۲۷/۱۴ \pm ۱/۲۱$ شاهد: $۲/۱۸ \pm ۲۷/۳۰$	CRP IL-6	تمرین هوازی (تناوبی و تداومی) به مدت ۸ هفته و در ۳ جلسه در هفته اجرا شد. در مداخله اول، تمرین تناوبی با شدت ۹۰ تا ۹۵ درصد ضربان قلب ذخیره و به مدت ۲۶ تا ۴۶ دقیقه انجام شد. در مداخله دوم، تمرین تداومی با شدت ۶۰ تا ۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره و به مدت ۳۰ دقیقه اجرا گردید.
حق شناس ۲۰۲۰ (۴۰)	ایران	۳۹ پسر کودک	اضافه وزن	مداخله (۲۰ نفر): $۱۰/۷۵ \pm ۱/۰۷$ شاهد (۱۹ نفر): $۱۰/۷۹ \pm ۱/۱۸$	مداخله: $۲۴/۳۲ \pm ۲/۶۰$ شاهد: $۳/۸۰ \pm ۲۳/۸۵$	IL-6	تمرین هوازی تناوبی به مدت ۸ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۰ دقیقه، با شدت ۵۰ تا ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه اجرا شد.
ولی پور و دیگران ۲۰۲۰ (۴۱)	ایران	۴۵ پسر نوجوان	اضافه وزن و چاق	مداخله (۱۵ نفر): ۱۳ تا ۱۵ سال مداخله (۱۵ نفر): ۱۳ تا ۱۵ سال شاهد (۱۵ نفر): ۱۳ تا ۱۵ سال	مداخله ۱: $۲۶/۵۷ \pm ۲/۱۱$ مداخله ۲: $۲۶/۶۴ \pm ۲/۰۹$ شاهد: $۲/۳۳ \pm ۲۶/۸۲$	CRP	تمرین هوازی تناوبی به مدت ۱۲ هفته و در ۳ جلسه در هفته اجرا شد. در مداخله اول، تمرین تناوبی با شدت ۸۵ تا ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه و به مدت ۳۰ تا ۵۰ دقیقه انجام شد. در مداخله دوم، تمرین هوازی با مدت مشابه (۳۰ تا ۵۰ دقیقه) اجرا گردید.
پلاوسیچ و دیگران ۲۰۲۰ (۳۸)	صربستان	۴۴ دختران نوجوان	چاق	مداخله (۲۲ نفر): $۱۵/۵۰ \pm ۱/۵۰$ شاهد (۲۲ نفر):	مداخله: $۳۳/۳۰ \pm ۳/۵۰$ شاهد:	CRP	تمرین هوازی تناوبی طی ۱۲ هفته، در ۲ جلسه هفتگی و به مدت ۴۳ دقیقه در هر جلسه، با شدت ۸۵ تا



۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه انجام شد.		$4/00 \pm 32/20$	$15/80 \pm 1/50$				
تمرین هوازی تناوبی به مدت ۴ هفته، در ۲ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۳۰ دقیقه اجرا شد.	CRP IL-6	مداخله: $33/90 \pm 3/10$ شاهد: $34/60 \pm 4/90$	مداخله (۳۰ نفر): $14/60 \pm 0/70$ شاهد (۲۰ نفر): $14/70 \pm 0/80$	چاق	۵۰ دختر نوجوان	چین	لی و دیگران ۲۰۱۸ (۳۶)
تمرین هوازی تناوبی و استقامتی به مدت ۸ هفته، در ۳ جلسه در هفته اجرا شد؛ به طوری که مداخله اول شامل تمرین تناوبی با شدت ۴۵ تا ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۱۵ دقیقه و مداخله دوم شامل تمرین استقامتی با همان شدت به مدت ۳۶ دقیقه بود.	CRP	مداخله ۱: $31/40 \pm 1/70$ مداخله ۲: $31/40 \pm 1/70$ شاهد: $31/40 \pm 1/70$	مداخله (۷ نفر) ۱: ۹ تا ۱۲ سال مداخله (۷ نفر) ۲: ۹ تا ۱۲ سال شاهد (۷ نفر): ۹ تا ۱۲ سال	چاق	۲۱ دختر و پسر کودک	ایران	سلیمی آوانسر و رز ۲۰۱۷ (۳۴)
تمرین هوازی به مدت ۱۲ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه اجرا شد.	CRP IL-6	مداخله: $31/10 \pm 5/20$ شاهد: $32/20 \pm 4/90$	مداخله (۱۰ نفر): $14/10 \pm 1/30$ شاهد (۱۰ نفر): $14/80 \pm 1/40$	چاق	۲۰ دختر نوجوان	پرتغال	واکسونسلوس و دیگران ۲۰۱۶ (۲۰)
تمرین هوازی تناوبی به مدت ۸ هفته، در ۳ جلسه در هفته اجرا شد.	IL-6	مداخله: $27/90 \pm 0/88$ شاهد: $27/70 \pm 0/86$	مداخله (۱۶ نفر): ۸ تا ۱۱ سال شاهد (۱۶ نفر): ۸ تا ۱۱ سال	اضافه وزن	۳۲ پسر و دختر کودک	ایران	کاظمی و شاهرخی ۲۰۱۶ (۴۲)
تمرین هوازی (طناب‌زدن) به مدت ۸ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۳۰ دقیقه اجرا شد.	CRP	مداخله: $31/04 \pm 2/55$ شاهد: $30/40 \pm 3/19$	مداخله (۱۵ نفر): $13/73 \pm 0/78$ شاهد (۱۵ نفر): $13/73 \pm 0/78$	اضافه وزن و چاق	۳۰ پسر نوجوان	ایران	زکوی و دیگران ۲۰۱۴ (۴۳)
تمرین هوازی به مدت ۱۲ هفته، در ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه اجرا شد.	CRP IL-6	مداخله: $27/90 \pm 4/80$ شاهد: $31/80 \pm 5/00$	مداخله (۲۳ نفر): ۷ تا ۱۲ سال شاهد (۱۲ نفر): ۷ تا ۱۲ سال	اضافه وزن	۳۵ دختر و پسر کودک	آمریکا	مورفی و دیگران ۲۰۰۹ (۳۹)
تمرین هوازی به مدت ۸ هفته، در ۴ جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۳۰ تا ۵۰ دقیقه با شدت ۵۰ تا ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی اجرا شد.	CRP IL-6	مداخله: $32/70 \pm 2/60$ شاهد: $30/50 \pm 2/30$	مداخله (۹ نفر): $10/80 \pm 0/67$ شاهد (۱۰ نفر): $11/00 \pm 0/71$	اضافه وزن	۱۹ دختر و پسر کودک	آمریکا	کیل و دیگران ۲۰۰۷ (۲۱)



## جدول ۲: ارزیابی کیفیت مطالعات براساس ابزار Pedro

امتیاز	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	مطالعه - سال
۶	۱	۱		۱	۱	۰	۰	۱	۱	پنیا و دیگران ۲۰۲۳ (۳۵)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	ولی پور و دیگران ۲۰۲۲ (۳۷)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	نامبی و دیگران ۲۰۲۲ (۳۳)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	سوری و دیگران ۲۰۲۱ (۱۸)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	وکیلی و دیگران ۲۰۲۱ (۱۹)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	حق شناسی ۲۰۲۰ (۴۰)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	ولی پور و دیگران ۲۰۲۰ (۴۱)
۶	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	پلاوسیچ و دیگران ۲۰۲۰ (۳۸)
۶	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	لی و دیگران ۲۰۱۸ (۳۶)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	سلیمی اوانسر و دیگران ۲۰۱۷ (۳۴)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	واکسونسلوس و دیگران ۲۰۱۶ (۲۰)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	کازمی و شاهرخی ۲۰۱۶ (۴۲)
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	زکوی و دیگران ۲۰۱۴ (۴۳)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	مورفی و دیگران ۲۰۰۹ (۳۹)
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	کیل و دیگران ۲۰۰۷ (۲۱)

معیارهای ارزیابی کیفیت مطالعات PEDro شامل: ۱- معیارهای ورود شرکت کنندگان به طور واضح مشخص شده باشد ۲- تخصیص شرکت کنندگان به گروه‌ها به صورت تصادفی انجام شده باشد. ۳- شرکت کنندگان نسبت به گروه‌دهی خود آگاهی نداشته باشند (کور بودن شرکت کننده). ۴- گروه‌ها در ابتدای مطالعه از نظر متغیرهای پایه مانند وزن بدن همگن باشند. ۵- ارزیابی کننده‌های متغیر اصلی کور (بی اطلاع از گروه‌بندی) باشند. ۶- نرخ ریزش شرکت کنندگان کمتر از ۱۵ درصد باشد. ۷- تحلیل داده‌ها به صورت intention to treat انجام شده باشد. ۸- تفاوت آماری بین گروهی برای متغیر اصلی گزارش شده باشد. ۹- میانگین، انحراف معیار و سطح معنی داری آماری (p-value) گزارش شده باشد. این معیارها به منظور بررسی کیفیت روش‌شناسی مطالعات مداخله‌ای طراحی شده‌اند و می‌توانند در فراتحلیل‌ها برای ارزیابی دقت و قابلیت اعتماد نتایج مورد استفاده قرار گیرند.

## نتایج فراتحلیل

اثر تمرینات هوازی بر سطوح پلاسمایی CRP: تجزیه و تحلیل داده‌های ۱۰ مطالعه با ۱۳ مداخله تمرین هوازی نشان داد که تمرینات هوازی سبب کاهش سطح CRP نزدیک سطح معنی داری [ $p=0/050$ ،  $-0/1867$  (الی  $0/001$ )  $SMD=-0/433$ ] نسبت به گروه شاهد در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق شد (جدول ۳). با استفاده از آزمون  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنی دار وجود دارد ( $p=0/001$ ،  $I^2=71/922$ ). این میزان ناهمگونی بالا می‌باشد و نشان می‌دهد که تفاوت نتایج مطالعات فراتر از خطای تصادفی بوده و احتمالاً ناشی از تفاوت‌های واقعی بین آن‌هاست. عواملی مانند تفاوت در نوع و شدت مداخله تمرین هوازی، مدت و تعداد جلسات تمرین، ویژگی‌های جمعیت (سن، جنسیت، شدت اضافه وزن یا چاقی) و همچنین روش‌های اندازه‌گیری CRP می‌تواند علت این ناهمگونی باشد.

نتیجه آزمون Egger نشان داد که سوگیری انتشار معنی داری برای CRP وجود ندارد ( $p=0/057$ ). با توجه به وجود این ناهمگونی، ما در تحلیل‌ها از مدل اثرات تصادفی استفاده کردیم تا این تغییرپذیری بین مطالعات لحاظ شود. اما احتمالاً ناشی از تنوع واقعی در مطالعات بوده و نه به دلیل سوگیری انتشار باشد.

نتایج فونل پلات در (شکل ۲) اثر تمرینات هوازی بر مقادیر پلاسمایی CRP در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اکثر نقاط داده در سمت چپ نمودار متمرکز هستند و محدوده‌های اعتماد نسبتاً باریک‌اند، که



نشان‌دهنده کاهش قابل توجه سطح CRP پس از مداخلات هوازی است. این الگو حاکی از آن است که تمرینات هوازی می‌توانند به‌طور مؤثر سطح التهاب سیستمیک، اندازه‌گیری شده با CRP، را در این گروه کاهش دهند. پراکندگی اندکی در داده‌ها وجود دارد که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های فردی، شدت و مدت برنامه‌های تمرینی یا روش‌های اندازه‌گیری CRP است، اما روند کلی کاهش واضح و معنی‌دار است.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس تعداد هفته نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۸ هفته)  $p=0/060$ ،  $(-1/154)$  الی  $(0/023)$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۸ هفته) با تغییر غیرمعنی دار CRP  $[SMD=-0/565]$   $p=0/428$ ،  $(-0/989)$  الی  $(0/420)$   $[SMD=-0/285]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شد.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس تعداد جلسات در هفته نشان داد که تمرینات هوازی (بیشتر از ۳ جلسه در هفته) با تغییر غیرمعنی دار CRP  $[SMD=0/917]$   $(1/863)$  الی  $(-0/30)$   $p=0/058$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق مشاهده شد، اما تمرینات هوازی (کمتر از ۳ جلسه در هفته) با کاهش معنی دار CRP  $[SMD=-0/552]$   $(-0/145)$  الی  $(0/960)$   $p=0/008$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شد.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس مدت زمان تمرین نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۳۰ دقیقه)  $p=0/317$ ،  $(-0/956)$  الی  $(0/310)$   $[SMD=-0/323]$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۳۰ دقیقه) با تغییر غیرمعنی دار CRP  $[SMD=0/053]$   $(-1/208)$  الی  $(0/008)$   $p=0/600$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس شدت تمرین نشان داد که تمرینات هوازی (بیشتر از ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به بالاتر)  $p=0/212$ ،  $(-1/034)$  الی  $(0/230)$   $[SMD=-0/402]$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه) با تغییر غیرمعنی دار CRP  $[SMD=0/547]$   $(-0/589)$  الی  $(0/836)$   $[SMD=-0/494]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.

**اثر تمرینات هوازی بر مقادیر سطوح پلاسمایی IL-6:** تجزیه و تحلیل داده‌های ۱۰ مطالعه با ۱۱ مداخله تمرین هوازی نشان داد که تمرین هوازی با تغییر غیرمعنی دار IL-6  $[SMD=-0/468]$   $(-1/268)$  الی  $(0/332)$   $p=0/251$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق همراه است (جدول ۴). با استفاده از آزمون ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنی‌دار وجود دارد  $(I^2=91/728)$   $p=0/001$ . این مقدار نشان می‌دهد که بخش عمده تغییرات مشاهده شده در نتایج مطالعات، فراتر از خطای تصادفی بوده و به احتمال زیاد ناشی از تفاوت‌های واقعی در طراحی و اجرای مطالعات است. عواملی مانند شدت و مدت مداخله تمرین هوازی، تفاوت در ویژگی‌های نمونه‌ها (سن، جنسیت، سطح اضافه‌وزن/چاقی)، و روش‌های سنجش IL-6 می‌توانند از علل اصلی این ناهمگونی باشند.

نتیجه آزمون Egger نشان داد که سوگیری انتشار معنی‌داری برای IL-6 وجود ندارد  $(p=0/192)$ . با توجه به ناهمگونی بالا، در این تحلیل از مدل اثرات تصادفی استفاده شد تا تغییرپذیری بین مطالعات لحاظ گردد. بنابراین، نتایج باید با احتیاط بیشتری تفسیر شوند و توصیه می‌شود که پژوهش‌های آتی با طراحی‌های همگن‌تر و شرایط استانداردتر اجرا شوند تا برآورد دقیق‌تری از اثر تمرین هوازی بر سطح IL-6 به دست آید.

نتایج فونل پلات در (شکل ۳) اثر تمرینات هوازی بر مقادیر پلاسمایی IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر نقاط داده در سمت چپ نمودار متمرکز هستند و محدوده‌های اعتماد نسبتاً باریک‌اند، که نشان‌دهنده کاهش قابل توجه سطح IL-6 پس از مداخلات هوازی است. این الگو حاکی از آن است که تمرینات هوازی می‌توانند به‌طور مؤثر التهاب سیستمیک، اندازه‌گیری شده با IL-6، را در این گروه کاهش دهند. پراکندگی اندکی در داده‌ها وجود دارد که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های فردی، شدت و مدت برنامه‌های تمرینی یا روش‌های اندازه‌گیری IL-6 است، اما روند کلی کاهش واضح و معنی‌دار است.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس تعداد هفته نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۸ هفته)  $p=0/087$ ،  $(-1/649)$  الی  $(0/111)$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۸ هفته) با تغییر غیرمعنی دار IL-6  $[SMD=-0/769]$   $(-1/359)$  الی  $(0/559)$   $[SMD=-0/400]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.



نتایج تحلیل زیرگروه براساس تعداد جلسات در هفته نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۳ جلسه در هفته)  $p=0/252$ ،  $[SMD=0/969 (2/626 \text{ الی } 0/688)]$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۳ جلسه در هفته) با تغییر غیرمعنی دار IL-6  $p=0/100$ ،  $[SMD=-1/761 \text{ الی } 0/153 (0/184 \text{ الی } -0/804)]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.

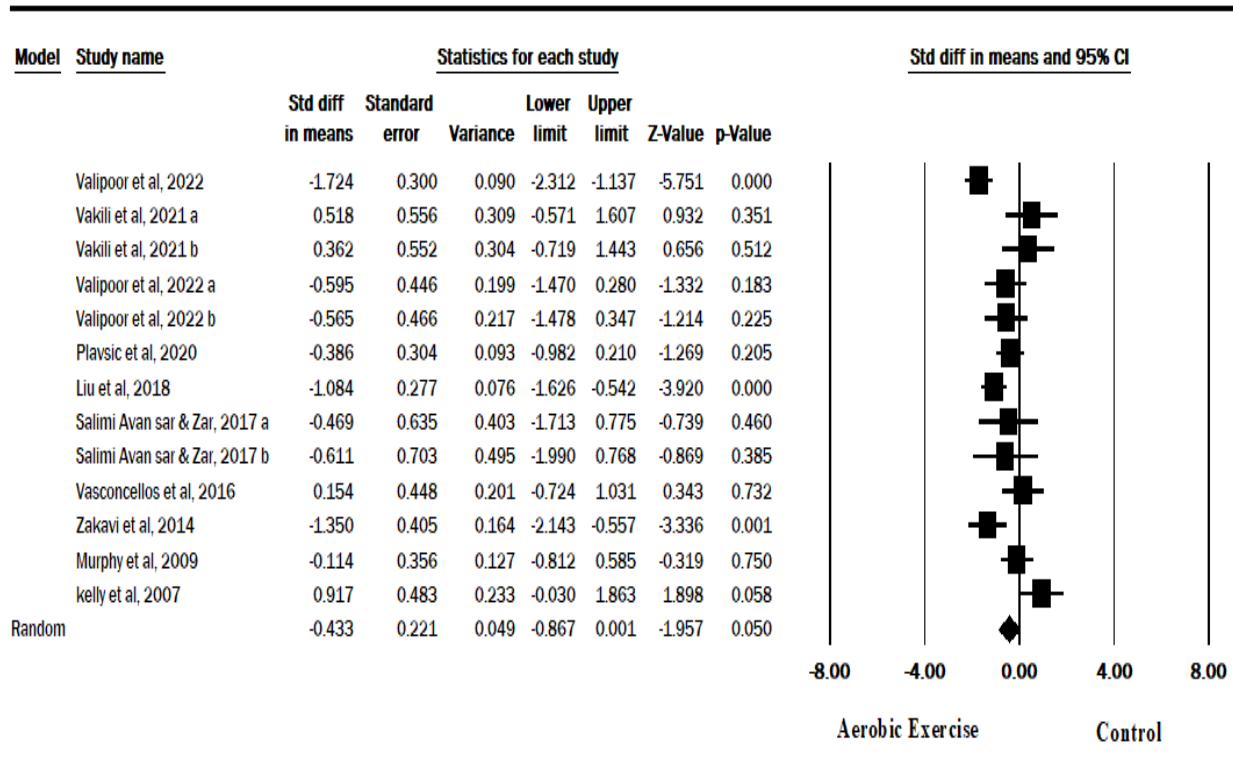
نتایج تحلیل زیرگروه براساس مدت زمان تمرین نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۳۰ دقیقه)  $p=0/783$ ،  $[SMD=-1/344 \text{ الی } 1/013 (0/166 \text{ الی } -0/166)]$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۳۰ دقیقه) با تغییر غیرمعنی دار IL-6  $p=0/214$ ،  $[SMD=-3/010 \text{ الی } -2/200]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.

نتایج تحلیل زیرگروه براساس شدت تمرین نشان داد که هر دو تمرینات هوازی (بیشتر از ۷۵ درصد به بالاتر)  $p=0/321$ ،  $[SMD=-3/114 \text{ الی } 1/021 (0/47 \text{ الی } -1/47)]$  و تمرینات هوازی (کمتر از ۷۵ درصد) با تغییر غیرمعنی دار IL-6  $p=0/689$ ،  $[SMD=-0/299 \text{ الی } 0/883 (0/948 \text{ الی } -0/299)]$  در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه شاهد همراه است.

**کیفیت مطالعات:** نتایج بررسی کیفیت مقالات با استفاده از Pedro نشان داد که حداقل امتیاز کیفیت مقالات ۶ و حداکثر امتیاز ۸ بود (جدول ۲). این یافته‌ها بیانگر این است که تمامی مقالات شامل در این مرور فراتحلیل دارای کیفیت متوسط تا خوب هستند و می‌توان از نتایج آن‌ها برای تحلیل اثر تمرینات هوازی بر سطوح پلاسمایی CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق استفاده کرد.

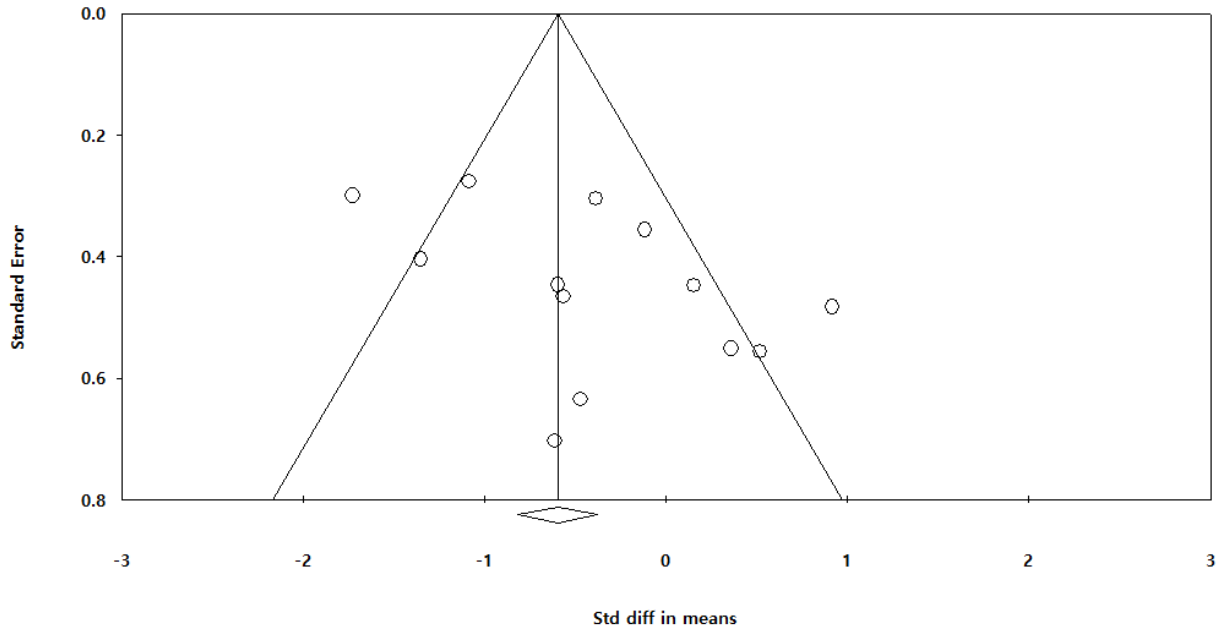
**تحلیل حساسیت:** همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان داد، با استفاده از حذف تک به تک مطالعات، میزان اندازه اثر تمرینات هوازی بر پروتئین واکنشگر C و اینترلوکین ۶، جهت اندازه اثر و p value تغییری نکرد.

## Meta Analysis



جدول ۳: نمودار فارست پلات، اثر تمرینات هوازی بر مقادیر سطوح پلاسمایی CRP در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق

**Funnel Plot of Standard Error by Std diff in means**



شکل ۲: نمودار فونل پلات، اثر تمرینات هوازی بر مقادیر سطوح پلاسمایی GRP در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق

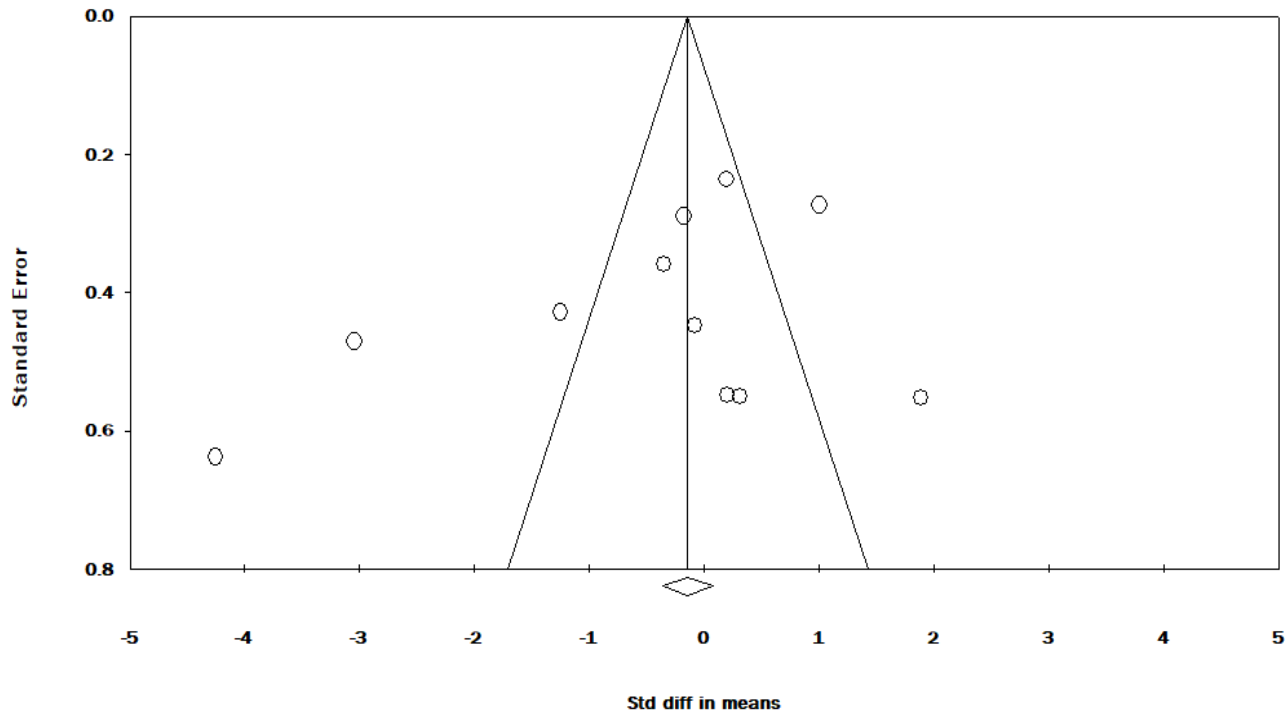
## Meta Analysis

Model	Study name	Statistics for each study						Std diff in means and 95% CI	
		Std diff in means	Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-Value		p-Value
	Pena et al, 2023	1.008	0.273	0.075	0.473	1.544	3.691	0.000	
	Nambi et al, 2022	0.194	0.236	0.056	-0.269	0.657	0.822	0.411	
	Soori et al, 2021	-1.250	0.429	0.184	-2.091	-0.410	-2.915	0.004	
	Vakili et al, 2021 a	0.201	0.549	0.301	-0.875	1.276	0.365	0.715	
	Vakili et al, 2021 b	0.314	0.551	0.303	-0.765	1.393	0.570	0.569	
	Haghshenas, 2020	-3.043	0.471	0.221	-3.966	-2.121	-6.468	0.000	
	Liu et al, 2018	-0.177	0.289	0.084	-0.744	0.390	-0.612	0.541	
	Vasconcellos et al, 2016	-0.079	0.447	0.200	-0.956	0.798	-0.177	0.860	
	Kazemi & Shahrokhi, 2016	-4.250	0.638	0.407	-5.500	-2.999	-6.660	0.000	
	Murphy et al, 2009	-0.350	0.359	0.129	-1.053	0.353	-0.976	0.329	
	kelly et al, 2007	1.891	0.552	0.305	0.809	2.974	3.423	0.001	
Random		-0.468	0.408	0.167	-1.268	0.332	-1.147	0.251	

جدول ۴: نمودار فارست پلات، اثر تمرینات هوازی بر مقادیر سطوح پلاسمایی IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق



Funnel Plot of Standard Error by Std diff in means



شکل ۳: نمودار فونل پلات، اثر تمرینات هوازی بر مقادیر سطوح پلاسمایی IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق

### بحث

نتایج فراتحلیل نشان داد که تمرینات هوازی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق باعث کاهش سطح CRP شد، اگرچه این کاهش در مرز معنی داری آماری با اندازه اثر [SMD = -0.433, 95% CI: -0.867 to 0.001, p = 0.050] قرار داشت، در مقابل، تمرینات هوازی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق بر سطح IL-6 تغییر غیرمعنی داری که با اندازه اثر [SMD = -0.468, 95% CI: -1.268 to 0.332, p = 0.251] ملاحظه گردید، اما روند کلی کاهش را می توان مشاهده کرد. تمرینات هوازی باعث کاهش نشانگرهای التهاب سیستمیک مانند CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق می شوند. کاهش این نشانگرها می تواند اهمیت بالینی داشته و با کاهش خطر بیماری های قلبی-عروقی در بلند مدت مرتبط باشد. با این حال، بیشتر مطالعات کوتاه مدت بوده و شواهد مستقیم از اثرات بالینی در کودکان محدود است؛ بنابراین نتایج باید با احتیاط تفسیر شوند و مطالعات طولانی تر و طراحی های همگن تر برای ارزیابی اثرات بالینی تمرینات هوازی مورد نیاز است.

فاصله اطمینان ۹۵٪ برای هر یک از اندازه های اثر، دقت نتایج را نشان می دهد و در ارزیابی قدرت تخمین ها به کار می رود. برای CRP، فاصله اطمینان معنی دار و باریک (95% CI: -0.867 to 0.001) نشان می دهد که نتیجه با دقت بیشتری برآورد شده است. در مقابل، برای IL-6، فاصله اطمینان گسترده تر (95% CI: -1.268 to 0.332) نشان دهنده نوسانات بیشتر و عدم تغییر معنی دار است. برای بررسی ناهمگونی بین مطالعات، از آزمون I<sup>2</sup> استفاده شد. مقدار I<sup>2</sup> برای CRP برابر با (I<sup>2</sup> = 71.922, p = 0.001) و برای IL-6 برابر با (I<sup>2</sup> = 91.728, p = 0.001) بود که نشان دهنده ناهمگونی بالاست. این مقادیر نشان می دهند که بخش عمده تغییرات مشاهده شده



در نتایج مطالعات، فراتر از خطای تصادفی بوده و احتمالاً ناشی از تفاوت‌های واقعی در طراحی و اجرای مطالعات است. با توجه به میزان ناهمگونی بالا، از مدل اثرات تصادفی برای تجزیه و تحلیل استفاده شد تا تغییرپذیری بین مطالعات به‌طور مناسب لحاظ شود. این انتخاب به این دلیل بود که ناهمگونی به‌طور معنی داری از خطای تصادفی فراتر بود و احتمالاً ناشی از تفاوت‌های واقعی در مطالعات است. همچنین، برای بررسی سوگیری انتشار، از آزمون Egger و فونل پلات استفاده شد. نتایج آزمون Egger نشان داد که برای CRP ( $p = 0.057$ ) و IL-6 ( $p = 0.192$ ) شواهد معنی داری از سوگیری انتشار وجود ندارد. فونل پلات‌ها (شکل‌های ۳ و ۵) نیز روند کاهش قابل توجه CRP و IL-6 پس از تمرینات هوازی را نشان می‌دهند. با وجود پراکندگی اندک داده‌ها که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های فردی، شدت و مدت برنامه‌های تمرینی یا روش‌های اندازه‌گیری است، الگوی کلی کاهش واضح و معنی دار باقی می‌ماند. با توجه به ناهمگونی بین مطالعات، تحلیل‌ها با استفاده از مدل اثرات تصادفی انجام شد تا تغییرپذیری واقعی بین مطالعات لحاظ گردد. این نتایج نشان می‌دهد که تمرینات هوازی می‌توانند به‌طور مؤثر التهاب سیستمیک را در کودکان و نوجوانان دارای اضافه وزن و چاق کاهش دهند، در حالی که احتمال سوگیری انتشار اثر معنی داری بر یافته‌ها ندارد.

پنتا و دیگران<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) بیان کردند که تمرین هوازی به مدت ۸ هفته تغییر معنی دار در IL-6 مشاهده نکردند (۳۵). ولی پور و دیگران (۲۰۲۲) بیان کردند که پس از ۱۲ هفته تمرین تناوبی کاهش معنی دار CRP را مشاهده کردند (۳۷). نامبی و دیگران<sup>۲</sup> (۲۰۲۲) نشان دادند که پس از ۴ هفته تمرین تناوبی تغییر معنی دار در IL-6 ایجاد نشد (۳۳). سوری و دیگران (۲۰۲۱) بیان کردند که پس از ۱۰ هفته تمرین تناوبی کاهش معنی دار IL-6 در پسران نوجوان چاق مشاهده کردند (۱۸). وکیلی و دیگران (۲۰۲۱) پس از ۸ هفته تمرین تناوبی و تداومی بهبود معنی دار CRP و IL-6 گزارش دادند (۱۹). حق شناس (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند که ۸ هفته تمرین با کاهش معنی دار IL-6 همراه شد (۴۰). ولی پور و دیگران (۲۰۲۰) بیان کردند که پس از ۱۲ هفته تمرین تناوبی کاهش معنی دار CRP را مشاهده کردند (۴۱). پلاسویچ و دیگران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰)، پس از ۱۲ هفته تمرین تناوبی تغییر قابل توجهی در CRP دیده شد (۳۸). لی و دیگران<sup>۴</sup> (۲۰۱۸)، پس از ۴ هفته تمرین تناوبی با کاهش معنی دار IL-6 و CRP همراه شد (۳۶). سلیمی آوانسر (۲۰۱۷)، پس از ۸ هفته تمرین هوازی تغییر معنی دار در CRP ایجاد نشد (۳۴). اما واکسونسلوس و دیگران<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) پس از ۱۲ هفته تمرین هوازی تغییر معنی دار در IL-6 و CRP مشاهده نکردند (۲۰). کیل و دیگران<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) پس از ۸ هفته تمرین هوازی تغییر معنی دار در CRP و IL-6 همراه نشد (۲۱). فراتحلیل لی و دیگران<sup>۷</sup> (۲۰۲۴) با تحلیل ۲۸ مطالعه و ۱۰۱۰ آزمودنی، کاهش معنی دار CRP و IL-6 در پاسخ به تمرینات ورزشی را گزارش کرده است (۱۶). تفاوت در نتایج ممکن است ناشی از عواملی مانند شدت و مدت تمرین، نوع تمرین، سطح آمادگی بدنی، جنسیت آزمودنی‌ها و زمان‌بندی اندازه‌گیری شاخص‌های التهابی باشد.

مکانیسم‌های گوناگونی در کاهش سطح CRP و IL-6 پس از انجام تمرینات هوازی تناوبی (HIIT) دخیل هستند. HIIT به‌عنوان یک روش مؤثر در کاهش سطوح CRP و IL-6 شناخته شده‌اند. تمرینات HIIT می‌توانند منجر به کاهش توده چربی بدن، به‌ویژه چربی احشایی شوند. کاهش این بافت چربی نقش مهمی در کاهش تولید سایتوکاین‌های التهابی مانند IL-6 و TNF- $\alpha$  دارد، که از عوامل اصلی تحریک سنتز CRP در کبد محسوب می‌شوند. با کاهش سطح این سایتوکاین‌ها، پاسخ التهابی سیستمیک تضعیف می‌شود و در نتیجه میزان CRP در گردش خون کاهش می‌یابد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که اجرای منظم برنامه‌های HIIT می‌تواند به کاهش قابل توجه چربی بدن و کاهش سطوح CRP منجر شود و بدین ترتیب نقش مؤثری در بهبود وضعیت التهابی و کاهش خطر بیماری‌های متابولیک و قلبی-عروقی ایفا کند (۴۴). تمرینات HIIT می‌توانند موجب افزایش ترشح سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند

1. Pena & et al

2. Nambi & et al

3. Plavsic & et al

4. Li & et al

5. Vasconcellos & et al

6. Kelly & et al

7. Li & et al



IL-10 و IL-1ra شوند. این سایتوکاین‌ها با مهار مسیرهای التهابی و کاهش تولید CRP توسط کبد، نقش مهمی در محدود کردن التهاب سیستمیک ایفا می‌کنند. افزایش سطح این عوامل ضدالتهابی علاوه بر کاهش پاسخ التهابی، می‌تواند اثرات محافظتی بر بافت‌ها و اندام‌ها داشته باشد و در کنار کاهش چربی بدن و محدود کردن سایتوکاین‌های التهابی، به بهبود وضعیت متابولیک و کاهش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی و متابولیک کمک کند (۴۵). تمرینات HIIT می‌توانند با افزایش فعالیت میتوکندریایی و تحریک تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، میزان استرس اکسیداتیو را کاهش دهند. کاهش استرس اکسیداتیو نه تنها از آسیب به سلول‌ها و بافت‌ها جلوگیری می‌کند، بلکه موجب محدود شدن پاسخ‌های التهابی سیستمیک می‌شود. این مکانیسم در نهایت به کاهش تولید CRP در کبد منجر شده و نقش مهمی در بهبود وضعیت التهابی و کاهش خطر بیماری‌های مزمن مرتبط با چاقی و التهاب ایفا می‌کند (۴۶). تمرینات HIIT می‌توانند با تقویت عملکرد سیستم ایمنی، پاسخ‌های التهابی بدن را به طور مؤثری تنظیم کنند، که این اثرات شامل افزایش توانایی پاسخ سلول‌های ایمنی به عوامل تهدیدکننده و کاهش تولید سایتوکاین‌های التهابی بیش از حد است، که در کنار کاهش CRP و تقویت سایتوکاین‌های ضدالتهابی، می‌تواند نقش مهمی در کنترل التهاب سیستمیک و بهبود سلامت عمومی ایفا کند (۴۷). تمرینات HIIT می‌توانند باعث افزایش ظرفیت هوازی ( $VO_{2max}$ ) شوند. افزایش ظرفیت هوازی نه تنها نشان‌دهنده بهبود عملکرد قلبی-عروقی و کارایی سیستم تنفسی است، بلکه با کاهش پاسخ‌های التهابی و کاهش سطوح CRP نیز مرتبط است. بهبود ظرفیت هوازی می‌تواند با ارتقای متابولیسم سلولی، کاهش تجمع چربی احشایی و بهبود تعادل سایتوکاین‌های التهابی و ضدالتهابی، اثرات ضدالتهابی ورزش را تقویت کند و نقش مهمی در کاهش خطر بیماری‌های متابولیک و قلبی-عروقی ایفا نماید (۴۸).

مکانیسم‌های گوناگونی در کاهش سطح CRP و IL-6 پس از انجام تمرینات هوازی تداومی (MICT) شناسایی شده‌اند. تمرینات MICT نه تنها به بهبود عملکرد قلبی-عروقی و افزایش توان عضلانی کمک می‌کنند، بلکه نقش مهمی در کاهش بافت چربی احشایی دارند. کاهش این نوع چربی، که در اطراف اندام‌های داخلی تجمع می‌یابد، می‌تواند تأثیر مستقیمی بر کاهش التهاب مزمن در بدن داشته باشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که انجام منظم تمرینات MICT موجب کاهش تولید مولکول‌های التهابی مانند CRP و IL-6 می‌شود. این کاهش نشان‌دهنده کاهش پاسخ التهابی سیستمیک است و می‌تواند خطر بروز بیماری‌های مزمن مرتبط با التهاب، از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی و متابولیک، را کاهش دهد. بنابراین، ترکیب فعالیت بدنی منظم با سبک زندگی سالم می‌تواند به کنترل التهاب و بهبود سلامت عمومی بدن کمک شایانی کند (۴۹). تمرینات MICT با فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ مانند AMPK و PI3K/Akt، باعث بهبود جذب گلوکز در سلول‌ها می‌شوند که این امر به افزایش حساسیت به انسولین منجر می‌شود. این مسیرها نقش کلیدی در تنظیم متابولیسم گلوکز و عملکرد سیستم ایمنی دارند و با کاهش التهاب مزمن، سلامت متابولیک را بهبود می‌بخشند (۵۰). علاوه بر این، تمرینات MICT با کاهش فعالیت مسیر NF-KB، تولید سایتوکاین‌های التهابی مانند IL-6 و CRP را کاهش می‌دهند. به‌ویژه، IL-6 که پیش‌تر به‌عنوان یک سایتوکاین التهابی شناخته می‌شد، در پاسخ به تمرینات MICT از عضلات ترشح می‌شود و نقش ضدالتهابی ایفا می‌کند. این سایتوکاین با فعال‌سازی مسیر PI3K/Akt، حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد و با افزایش انتقال گلوکز به داخل سلول‌ها، متابولیسم گلوکز را بهبود می‌بخشد (۵۱). تمرینات MICT با افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها مانند گلوکاتایون و SOD، استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (۵۲). این کاهش، فعال‌سازی مسیر التهابی NF-KB را کم کرده و تولید سایتوکاین‌های التهابی IL-6 و CRP را کاهش می‌دهد. در نتیجه، تمرینات MICT می‌توانند التهاب سیستمیک را کاهش داده و سلامت متابولیک را بهبود بخشند (۵۳). تمرینات MICT می‌توانند سطوح هورمون‌های استرس مانند کورتیزول و آدرنالین را تنظیم کنند. افزایش طولانی‌مدت این هورمون‌ها باعث فعال‌سازی مسیرهای التهابی و افزایش تولید IL-6 و CRP می‌شود (۵۴). در حالی که تنظیم هورمونی ناشی از تمرینات MICT می‌تواند این مسیرها را مهار کرده و سطح این سایتوکاین‌ها را کاهش دهد (۵۵). تمرینات MICT می‌توانند عملکرد میتوکندری‌ها را بهبود بخشند، که این امر منجر به افزایش تولید انرژی در سلول‌ها و کاهش تشکیل



رادیکال‌های آزاد می‌شود. کاهش رادیکال‌های آزاد، فشار اکسیداتیو را کم می‌کند و فعال‌سازی مسیرهای التهابی مانند NF-KB را مهار می‌کند، که در نهایت باعث کاهش تولید سیتوکین‌های التهابی IL-6 و CRP می‌شود (۴۹).

این مطالعه بر اساس یک جستجوی جامع و نظام‌مند انجام شد تا تمامی مقالات مرتبط با موضوع شناسایی شود. با وجود این تلاش، محدودیت‌هایی در پژوهش وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد. نخست، تعداد مطالعات موجود اندک و حجم نمونه در اغلب آن‌ها کم بود که می‌تواند بر اعتبار و تعمیم‌پذیری نتایج تأثیر بگذارد. دوم، بسیاری از مطالعات عوامل مؤثر بالقوه مانند رژیم غذایی، کیفیت و میزان خواب و وضعیت روانی شرکت‌کنندگان را کنترل نکرده بودند؛ این عوامل می‌توانند پاسخ‌های فیزیولوژیک به تمرینات هوازی را تحت تأثیر قرار دهند. سوم، تفاوت در معیارهای تعیین شدت تمرین میان مطالعات (استفاده از HRmax در مقابل HRR) می‌تواند موجب ناهمگنی در نتایج و دشواری در تفسیر تحلیل‌های زیرگروه شود. علاوه بر این، ناهمگونی بالای نتایج فراتحلیل نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه میان مطالعات و پیچیدگی رابطه بین تمرینات هوازی و سطوح پلاسمایی CRP و IL-6 در کودکان و نوجوانان دارای اضافه‌وزن و چاق است. این امر ضرورت انجام مطالعات بیشتری را برجسته می‌کند تا بتوان عوامل مؤثر و مکانیسم‌های زیربنایی پاسخ‌های التهابی به تمرینات HIIT و MICT را بهتر درک کرد. بنابراین، توصیه می‌شود که فراتحلیل‌های آینده با تعداد بیشتری از مطالعات انجام شوند و شدت، مدت و نوع تمرینات به‌طور دقیق و در قالب معیارهای استاندارد مشخص و کنترل شوند تا بتوان نتایج قابل اعتمادتر و عملی‌تری برای برنامه‌ریزی تمرینی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه‌وزن و چاق ارائه داد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این فراتحلیل، تمرینات هوازی در کودکان و نوجوانان دارای اضافه‌وزن و چاق باعث کاهش سطح CRP شد، اگرچه این کاهش در مرز معنی‌داری آماری قرار داشت، در مقابل، تغییر معنی‌داری در سطح IL-6 مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که فعالیت هوازی ممکن است تأثیر محدودی بر شاخص‌های التهابی داشته باشد و برای دستیابی به نتایج قطعی‌تر نیاز به مطالعات بیشتر و احتمالاً مداخلات طولانی‌تر یا ترکیبی وجود دارد.

## تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه منافع شخصی یا مالی مرتبط با انتشار این مقاله ندارند.

## قدردانی و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان از همکاری صمیمانه پژوهشگرانی که با ارائه داده‌های کمی، نقش مؤثری در تکمیل این مطالعه فراتحلیل ایفا کردند، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

## منابع

1. Ebbeling CB, Pawlak DB, Ludwig DS. Childhood obesity: public-health crisis, common sense cure. *The Lancet*. 2002;360(9331):473-82. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)09678-2.
2. Di Cesare M, Soric M, Bovet P, Miranda JJ, Bhutta Z, Stevens GA, et al. The epidemiological burden of obesity in childhood: a worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Medicine*. 2019;17(1):212. DOI: 10.1186/s12916-019-1449-8.
3. Etemadi A, Malekzadeh R. Definition and etiology of metabolic syndrome. *Archives of Iranian Medicine*. 2008; 11(1): 1-2. DOI: [https://www.researchgate.net/publication/5695562\\_Definition\\_and\\_etiology\\_of\\_metabolic\\_syndrome](https://www.researchgate.net/publication/5695562_Definition_and_etiology_of_metabolic_syndrome)
4. Hojjati Zidashti Z, Heydari E, Izaddoust F. Effects of green tea consumption and aerobic-resistance training on lipid profile and body composition in overweight and obese postmenopausal women. *Medical Sciences Journal of Islamic Azad University*. 2020;30(1):67-74. [In Persian]. DOI: <http://tmuj.iautmu.ac.ir/article-1-1743-en.html>



5. Ameryoun A, Sanaeinasab H, Saffari M, Koenig HG. Impact of Game-Based Health Promotion Programs on Body Mass Index in Overweight/Obese Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Childhood Obesity*. 2018;14(2):67-80. DOI: 10.1089/chi.2017.0250
6. Polyakova EA, Mikhaylov EN. The prognostic role of high-sensitivity C-reactive protein in patients with acute myocardial infarction. *Journal of Geriatric Cardiology*. 2020;17(7):379-83. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2020.07.007
7. Yosefi A, Abedi B, Sayyah M. Effect of Eight Weeks of Aerobic Training with Moqlenjan Supplementation on Lipid Profile and Glycemic Indices of Overweight Men. *Report of Health Care*. 2017;3(3):71-80. DOI: <https://sanad.iau.ir/fa/Article/1164312>
8. Amouzad Mahdirezai T, Berarei AR, Farzanegi P, Ahmadi M. Effect of four weeks of endurance training on serum level of paraoxonase-1 and lipid profile in non-athlete obese men. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*. 2014;16(3): 9-15. [In Persian]. DOI: <http://goums.ac.ir/journal/article-1-2050-en.html>.
9. Garbers C, Heink S, Korn T, Rose- John S. Interleukin-6: designing specific therapeutics for a complex cytokine. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2018;17(6):395-412. DOI: 10.1038/nrd.2018.45
10. Mahabadi-Ashtiyani E, SV, Borzouei Sh, Salehi I, Alahgholi-Hajibehzad M. Effect of Sitagliptin and Vitamin D<sub>3</sub> on Secretion of IL-6 and TNF- $\alpha$  Inflammatory Factors in Patients with Type 2 Diabetes. *journal name in your list: umsha*. 2018;25(3):134. [In Persian]. DOI: <http://sjh.umsha.ac.ir/article-1-1771-en.html>
11. Shafeie A, Tahmasebi W, Azizi M. The simultaneous effects of *Chlorella Vulgaris* supplementation and high intensity interval training on IL-6 serum levels reduction and insulin resistance on overweight men. *journal name not specified in your list*. 2019;7. [In Persian]. DOI: <http://journal.nums.ac.ir/article-1-726-en.html>
12. Rotondi M, Magri F, Chiovato L. Thyroid and obesity: not a one-way interaction. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2011;96(2):344-6. DOI: 10.1210/jc.2010-2515
13. Banitalebi E, Mardanpour Shahrekordi Z, Kazemi AR, Bagheri L, Amani Shalamzari S, Faramarzi M. Comparing the Effects of Eight Weeks of Combined Training (Endurance and Resistance) in Different Orders on Inflammatory Factors and Adipokines Among Elderly Females. *Women's Health Bulletin*. 2016;3(2):1-10. [In Persian]. DOI: 10.17795/whb-30990
14. Schönfeld-Warden N, Warden CH. Pediatric obesity. An overview of etiology and treatment. *Pediatric Clinics of North America*. 1997;44(2):339-61. DOI: 10.1016/s0031-3955(05)70480-6
15. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*. 2013;43(5):313-38. DOI: 10.1007/s40279-013-0029-x
16. Li LY, Li SM, Pang BX, Wei JP, Wang QH. Effects of exercise training on glucose metabolism indicators and inflammatory markers in obese children and adolescents: A meta-analysis. *World Journal of Diabetes*. 2024;15(6):1353-66. DOI: 10.4239/wjd.v15.i6.1353
17. Noori Mofrad SR, Golpasandi H, Sakhaei MH, Khalafi M. The effect of high intensity interval training on inflammatory markers in patient with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2022;9(2):123-37. [In Persian]. DOI: 10.22049/jahssp.2022.27922.1487
18. Soofi R, NM, Shabkhiz F, Ramezankhani A. The effect of a period of aerobic exercise with moderate intensity on zonulin and interleukin-6 in obese sedentary adolescent boys. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences*. 2021;8(4):34-45. [In Persian]. DOI: <http://jms.thums.ac.ir/article-1-886-fa.html>
19. Vakili J, Sari Saraf V, Khanvari T. The Effect of 8 Weeks of HIIT on Inflammatory Factors in Overweight Adolescent Boys. *Journal of Sport Biosciences*. 2021;13(1):75-89. [In Persian]. DOI: 10.22059/jsb.2021.311332.1434
20. Vasconcellos F, Seabra A, Cunha F, Montenegro R, Penha J, Bouskela E, et al. Health markers in obese adolescents improved by a 12-week recreational soccer program: a randomised controlled trial. *Journal of Sports Sciences*. 2016; 34(6): 564-75. DOI: 10.1080/02640414.2015.1064150
21. Kelly AS, Steinberger J, Olson TP, Dengel DR. In the absence of weight loss, exercise training does not improve adipokines or oxidative stress in overweight children. *Metabolism*. 2007;56(7):1005-9. DOI: 10.1016/j.metabol.2007.03.009



22. Kazemi Nesab F, Zafarmand O. Comparison of the effects of high-intensity intermittent training and moderate-intensity continuous training on cardiometabolic factors in type 2 diabetic patients: a systematic review and meta-analysis. *Feyz Medical Sciences Journal*. 2024;28(1):96-109. [In Persian]. DOI: <http://feyz.kaums.ac.ir/article-1-5008-en.html>
23. Kazemi Nesab F, Zafarmand O, Sharaffard F. The Effect of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Lipid Profile and Body Composition in Type 2 Diabetic Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2024;31(1):1-18. [In Persian]. DOI: <http://rjms.iuums.ac.ir/article-1-8447-en.html>
24. Molaei K, Zafarmand O, Moghadasi M, Salesi M. Effect of Aerobic Training on Metabolic Factors in Women with Polycystic Ovary syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *North Khorasan University of Medical Sciences*. 2025;17(1):1-13. [In Persian]. DOI: <http://journal.nkums.ac.ir/article-1-3137-en.html>
25. Zafarmand O, Molaei K, Mogharnasi M. Effect of Aerobic Exercise on Glycosylated Hemoglobin and Resistin in Overweight and Obese People with Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *North Khorasan University of Medical Sciences*. 2025;16(4):8-29. [In Persian]. DOI: <http://journal.nkums.ac.ir/article-1-3109-en.html>
26. Kazeminasab F, Hassanpour N, Zafarmand O. The effect of exercise training on serum apelin levels and insulin resistance in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2024;31(5):759-72. [In Persian]. DOI: <https://doi.org/10.30468/jsums.2024.7801.3070>
27. Kazeminasab F, Soori R, Zafarmand O. The effect of exercise training and green tea supplementation on improving glycemic indices in adults with overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Preventive Medicine*. 2024;11(3):291-308. [In Persian]. DOI: <http://jpm.hums.ac.ir/article-1-784-en.html>
28. Zafarmand O, Kazeminasab F. *Combined Effect of Exercise Training and Green Tea on Lipid Profile in Adults with Overweight and Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Iranian Journal of Diabetes and Lipid Disorders*. 2025;25(1):1-14. [In Persian]. DOI: <http://ijdd.tums.ac.ir/article-1-6371-en.html>
29. Saremi A, Zafarmand O. The Effect of High-Intensity Interval Training on Plasma Irisin Levels and Glycemic Indices in Obese and Type 2 Diabetic People: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Iranian Journal of Diabetes and Lipid Disorders*. 2025;25(2):85-100. [In Persian]. DOI: <http://ijdd.tums.ac.ir/article-1-6415-en.html>
30. Wen H, Wang L. Reducing effect of aerobic exercise on blood pressure of essential hypertensive patients: A meta-analysis. *Medicine*. 2017;96(11). DOI: 10.1097/MD.000000000000150
31. Egger M, Davey Smith G, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ (British Medical Journal)*. 1997;315(7109):629-34. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.629
32. Soori R, Zafarmand O. The Effect of Resistance Training on Glycemic Indices and Lipid Profiles in Polycystic Ovary Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2024;25(6):494-508. [In Persian]. DOI: <http://ijem.sbmu.ac.ir/article-1-3189-en.html>
33. Nambi G, Alghadier M, Elnegamy TE, Basuodan RM, Alwhaibi RM, Vellaiyan A, et al. Clinical (BMI and MRI) and Biochemical (Adiponectin, Leptin, TNF- $\alpha$ , and IL-6) Effects of High-Intensity Aerobic Training with High-Protein Diet in Children with Obesity Following COVID-19 Infection. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(12). DOI: 10.3390/ijerph19127194
34. Salimi Avansar M, Zar A. Comparing the Effect of Endurance and High Intensity Interval Trainings on Levels of Chemerin and Protein of C-reactive Plasma in Obese Children. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2017;20(2):54-66. [In Persian]. DOI: <http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-4844-en.html>
35. Peña A, Olson ML, Ayers SL, Sears DD, Vega-López S, Colburn AT, Shaibi GQ. Inflammatory Mediators and Type 2 Diabetes Risk Factors before and in Response to Lifestyle Intervention among Latino Adolescents with Obesity. *Nutrients*. 2023;15(11). DOI: 10.3390/nu15112442



36. Liu M, Lin X, Wang X. Decrease in serum chemerin through aerobic exercise plus dieting and its association with mitigation of cardio-metabolic risk in obese female adolescents. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*. 2018;31(2):127-35. DOI: 10.1515/jpem-2017-0431
37. Valipour S, Minasian V, Hovsepian S. The relationship between cardiorespiratory fitness with some biomarkers related to endothelial function and lipid profile of children with overweight and obesity. *Pejouhesh dar Pezeshki (Research in Medicine)*. 2022;46(1):9-17. [In Persian]. DOI: <http://pejouhesh.sbmu.ac.ir/article-1-2980-en.html>
38. Plavsic L, Knezevic OM, Sovtic A, Minic P, Vukovic R, Mazibrada I, et al. Effects of high-intensity interval training and nutrition advice on cardiometabolic markers and aerobic fitness in adolescent girls with obesity. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2020;45(3):294-300. DOI: 10.1139/apnm-2019-0137
39. Murphy E, Carson L, Neal W, Baylis C, Donley D, Yeater R. Effects of an exercise intervention using Dance Dance Revolution on endothelial function and other risk factors in overweight children. *International Journal of Pediatric Obesity*. 2009; 4:205-14. DOI: 10.3109/17477160902846187
40. Haghshenas R. The Effect of Rope Training on the Plasma Level of Angiotensin-1, Interleukin-6, and Lipid Profile of Overweight Boys. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2020;22(2):162-8. [In Persian]. DOI: <http://ijem.sbmu.ac.ir/article-1-2699-en.html>
41. Sadegh V, Vazgen M, Silva H. Comparison of High Intensity Interval Training and School-Based Exercises on has-miR125a-5p, CRP and lipid profile of children with overweight and obesity. *Sport Biosciences*. 2020;12(45):173-87. [In Persian]. DOI: [org/10.5812/zjrms-110782](http://doi.org/10.5812/zjrms-110782).
42. Kazemi Abdolreza SK. The Effect of 8 Weeks of HIT Workouts on Plasma Levels of TNF- $\alpha$ , IL-6 and Lipid Profile in Overweight Children. *Knowledge and Health in Basic Medical Sciences*. 2016;11(2):24-31. [In Persian]. DOI: <https://doi.org/10.22100/jkh.v11i2.1181>
43. Zakavi I, Sharifi M, Panahizadeh M, Valipour A. Effect of Eight Weeks Roping on Interleukin 18 and C-reactive Protein in Overweight and Obese Adolescents. *Journal of Sports and Biomotor Sciences*. 2014;6(11):37-48. [In Persian]. DOI: 10.22034/sbs.2023.371674.0
44. Cicek G, Ozcan O, Akyol P, Isik O, Novak D, Küçük H. The effect of aerobic and high-intensity interval training on plasma pentraxin 3 and lipid parameters in overweight and obese women. *PeerJ*. 2024;12: 18123. DOI: 10.7717/peerj.18123
45. Leiva-Valderrama JM, Montes-de-Oca-García A, Opazo-Díaz E, Ponce-Gonzalez JG, Molina-Torres G, Velázquez-Díaz D, Galán-Mercant A. Effects of High-Intensity Interval Training on Inflammatory Biomarkers in Patients with Type 2 Diabetes. A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(23). DOI: 10.3390/ijerph182312644
46. Bo B, Guo A, Kaila SJ, Hao Z, Zhang H, Wei J, Yao Y. Elucidating the primary mechanisms of high-intensity interval training for improved cardiac fitness in obesity. *Frontiers in Physiology*. 2023; 14: 1170324. DOI: 10.3389/fphys.2023.1170324
47. Bartlett DB, Willis LH, Slentz CA, Hoselton A, Kelly L, Huebner JL, et al. Ten weeks of high-intensity interval walk training is associated with reduced disease activity and improved innate immune function in older adults with rheumatoid arthritis: a pilot study. *Arthritis Research & Therapy*. 2018;20(1):127. DOI: 10.1186/s13075-018-1624-x
48. Kumar S. The Effect of Variable Continuous Training Compared To HIIT on VO<sub>2</sub> Max in Athletes: A Systematic Review. *African Journal of Biomedical Research*. 2024:3863-76. DOI: <https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i4S.4316>
49. Nicklas BJ, Hsu FC, Brinkley TJ, Church T, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Pahor M. Exercise training and plasma C-reactive protein and interleukin-6 in elderly people. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2008;56(11):2045-52. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2008.01994.x
50. Berbudi A, Khairani S, Tjahjadi AI. Interplay Between Insulin Resistance and Immune Dysregulation in Type 2 Diabetes Mellitus: Implications for Therapeutic Interventions. *Immunotargets and Therapy*. 2025; 14: 359-82. DOI: 10.2147/ITT.S499605

