

Effect of low-volume high-intensity interval training on serum Subfatin and Interleukin 4 in men with type 2 diabetes

Mehdi Zarei¹ , Javad Nakhzari Khodakheir^{2*} , kazem khodaei³ , Arash Mohammadi⁴ 

¹ Assistant professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Neyshabur, Neyshabur, Iran

² Assistant professor, Department of physical education and Sport Sciences, school of Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Associate Professor, Department of Sports Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia- Iran.

⁴ Department of physical education and Sport Sciences, Applied Scientific education Center of Sabzevar 2, Sabzevar, Iran

Abstract

Background and Purpose: Physical activity and exercise training are recognized as an integral part of the management and control of type 2 diabetes. Adipokines are a group of signaling proteins produced by adipose tissue and play a key role in regulating several physiological processes, including energy metabolism, inflammation, insulin sensitivity, and appetite control. Subfatin is a newly discovered adipokine secreted by adipose tissue and skeletal muscle. Studies have reported that subfatin increases insulin sensitivity and also has anti-inflammatory effects. Studies have suggested that low-volume high-intensity interval training may be an effective strategy to improve factors associated with the development of type 2 diabetes. The aim of the present study was to investigate the effect of low-volume high-intensity interval training on serum subfatin and interleukin-4 in men with type 2 diabetes.

Materials and Methods: In this quasi-experimental study, 20 men with type 2 diabetes were randomly divided into two groups: low-volume high-intensity interval training (n=10, age= 50.70±4.27, height = 1.72±0.06, weight = 82.21±7.07, body mass index = 27.81±2.19) and control (n=10, age = 48.10±5.30, height=1.70±0.07, weight =80.56±6.16, body mass index = 28.13±4.13). Subjects in the experimental groups performed low-volume high-intensity interval training for three sessions per week for eight weeks. The subjects trained in two four-minute intervals (2 x 4 minutes) in the first to fourth weeks, and in three four-minute intervals (intensity 85 to 90% of maximum heart rate) in the fifth to eighth weeks, with three minutes of active recovery (intensity 65 to 75% of maximum heart rate). The total duration of the training session was 21 to 28 minutes. Before and after the intervention, blood samples were taken from the subjects. The concentrations of subfatin and interleukin-4 were measured using ELISA kits specific for human samples. The Shapiro-Wilk test was used to examine the normality of the data, and the Levene test was used to examine the homogeneity of variances. To examine and compare the differences between groups after the intervention, the analysis of covariance test was used, and to examine the differences and changes within groups, the paired t-test was used. The analyses were performed at a significance level of P<0.05, and SPSS version 16 software was used to analyze the data.

Results: The results showed that after eight weeks, body weight (post-test mean =81.49±6.92, pre-test mean=82.21±7.07, effect size=0.258, p=0.026), body mass index (post-test mean=27.57±2.19, pre-test mean =27.81±2.19, effect size=0.271, p=0.022), body fat mass (post-test mean =22.22±9.7, pre-test mean=3.09±5.6, effect size= 0.214, p=0.046), fasting glucose (post-test mean =119.60±12.85, pre-test mean=134.80±11.16, effect size =0.366, p=0.006) and subfatin (post-test mean=3.26±3.8, test, mean pre-test=2.68±1.56, effect size=0.475, p=0.001) was significantly reduced in the low-volume high-intensity interval training group compared to the control group. However, no significant change was observed in interleukin-4 between the two groups (mean post-test =8.04±4.38, mean pre-test =7.19±2.70, effect size =0.080, p=0.241).

Conclusion: The results of the present study suggest that low-intensity interval training with sparing training time may be effective in reducing weight and body fat mass, fasting glucose, and improving subfatin levels in patients with type 2 diabetes. However, this type of training had no effect on interleukin-4 levels.

Keywords: Adipokines, Inflammation, Exercise, Diabetes Mellitus

How to cite this article: Zarei, M. Nakhzari Khodakheir, J. khodaei, K. Mohammadi, A. Effect of low-volume high-intensity interval training on serum Subfatin and Interleukin 4 in men with type 2 diabetes. J Sport Exerc Physiol. 2026;19(1):1-?.

*Corresponding Author's E-mail: Javadnakhzari@uoz.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.242558.1410>

Received: 18/11/2025

Revised: 12/12/2025

Accepted: 16/12/2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

نسخه پیش انتشار

تأثیر تمرینات تناوبی شدید کم حجم بر سابفاتین و اینترلوکین ۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع دو

مهدی زارعی^۱ ID، جواد نخزری خداخیر^{۲*} ID، کاظم خدایی^۳ ID، آرش محمدی^۴ ID

^۱ استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران
^۲ استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
^۳ دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۴ دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی، مرکز آموزش علمی کاربردی سبزوار ۲، سبزوار، ایران

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت بدنی و تمرینات ورزشی به عنوان بخش جدایی ناپذیر مدیریت و کنترل دیابت نوع ۲ شناخته می‌شود. آدیپوکاین‌ها گروهی از پروتئین‌های سیگنال‌دهنده هستند که توسط بافت چربی تولید می‌شوند و نقش کلیدی در تنظیم برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله متابولیسم انرژی، التهاب، حساسیت به انسولین و کنترل اشتها دارند. سابفاتین یک آدیپوکین تازه کشف شده است که توسط بافت چربی و عضله اسکلتی ترشح می‌شود. مطالعات گزارش کرده اند که سابفاتین حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد و همچنین اثرات ضد التهابی دارد. مطالعات پیشنهاد کرده اند که تمرینات تناوبی شدید کم حجم ممکن است یک استراتژی مؤثر برای بهبود فاکتورهای مرتبط با گسترش دیابت نوع ۲ باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تمرینات تناوبی شدید کم حجم بر سابفاتین و اینترلوکین ۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع دو بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۲۰ مرد مبتلا به دیابت نوع دو به طور تصادفی به دو گروه تقسیم شدند: تمرینات تناوبی شدید کم حجم (۱۰ نفر، سن = 47.0 ± 4.27 ، قد = 1.72 ± 0.06 ، وزن = 82.21 ± 7.07 ، شاخص توده بدنی = 27.81 ± 2.19) و کنترل (۱۰ نفر، سن = 48.10 ± 5.30 ، قد = 1.70 ± 0.07 ، وزن = 80.56 ± 6.16 ، شاخص توده بدنی = 28.13 ± 4.13). آزمودنی‌های گروه‌های تجربی، تمرینات تناوبی شدید کم حجم را برای سه جلسه در هفته به مدت هشت هفته انجام دادند. آزمودنی‌ها در هفته‌های اول تا چهارم، دو بازه چهار دقیقه ای (4×2 دقیقه) و در هفته‌های پنجم تا هشتم در سه بازه چهار دقیقه ای (شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه) و با ریکاوری فعال سه دقیقه ای (شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه)، به تمرین پرداختند. مدت زمان کل جلسه تمرین ۲۱ تا ۲۸ دقیقه بود. قبل و بعد از مداخله، از آزمودنی‌ها نمونه خون گرفته شد. غلظت سابفاتین و اینترلوکین-۴ با استفاده از کیت‌های الایزای انسانی مخصوص اندازه گیری شد. به منظور بررسی طبیعی بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. برای بررسی تفاوت‌های بین گروهی، از آزمون آماری تحلیل کوواریانس و برای بررسی تفاوت‌های درون گروهی از آزمون تی زوجی استفاده شد. تحلیل‌ها در سطح معنی داری $P < 0.05$ انجام شد و برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که پس از هشت هفته، وزن بدن ($81/49 \pm 6/92$) میانگین پس آزمون، $82/21 \pm 7/07$ میانگین پیش آزمون، $0/258$ اندازه اثر، $p=0/026$)، شاخص توده بدنی ($27/57 \pm 2/29$) میانگین پس آزمون، $27/81 \pm 2/19$ میانگین پیش آزمون، $0/271$ اندازه اثر، $p=0/022$)، توده چربی بدن ($22/22 \pm 3/97$) میانگین پس آزمون، $23/09 \pm 3/56$ میانگین پیش آزمون، $0/214$ اندازه اثر، $p=0/046$)، گلوکز ناشتا ($119/60 \pm 12/85$) میانگین پس آزمون، $134/80 \pm 11/16$ میانگین پیش آزمون، $0/366$ اندازه اثر، $p=0/006$) و سافاتین ($3/26 \pm 1/38$) میانگین پس آزمون، $2/68 \pm 1/56$ میانگین پیش آزمون، $0/475$ اندازه اثر، $p=0/001$) در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری کاهش یافت. با این حال تغییر معناداری در اینترلوکین-4 بین دو گروه مشاهده نشد ($8/04 \pm 4/38$) میانگین پس آزمون، $7/19 \pm 2/70$ میانگین پیش آزمون، $0/080$ اندازه اثر، $p=0/241$).

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می کند که تمرین تناوبی شدید کم حجم با صرفه جویی در مدت زمان تمرین ممکن است در کاهش وزن و توده چربی بدن، گلوکز ناشتا و بهبود سطوح سافاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ موثر باشد. با این حال این نوع تمرین تأثیری در سطوح اینترلوکین-4 نداشت.

واژه های کلیدی: آدیپوکاین ها، التهاب، تمرینات ورزشی، دیابت ملیتوس

نحوه استناد به این مقاله: زارعی، مهدی، نخزری خداخیر، جواد، خدایی، کاظم، محمدی، آرش. تأثیر تمرینات تناوبی شدید کم حجم بر سافاتین و اینترلوکین ۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع دو. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛ ۱۹(۱): ۱-۹.

* رایانامه نویسنده مسئول: Javadnakhzari@uoz.ac.ir

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

مقدمه

دیابت نوع دو (T2DM) یک اختلال متابولیک پیچیده و چند سیستمی است که با سطح بالای گلوکز خون ناشی از نقص پیشرونده در ترشح انسولین یا مقاومت بافت به انسولین مشخص می‌شود (۱). شیوع این بیماری در دهه‌های اخیر به سرعت افزایش یافته است (۲). عوامل اصلی ایجاد کننده اپیدمی دیابت نوع ۲، افزایش جهانی چاقی، سبک زندگی بی‌تحرک، رژیم‌های غذایی پرکالری و افزایش جمعیت سالمندان است که منجر به افزایش بروز و شیوع دیابت نوع ۲ شده است (۳، ۴). عوامل خطر دیابت نوع ۲ شامل ترکیبی پیچیده ای از عوامل ژنتیکی، متابولیکی و محیطی است که با یکدیگر تعامل دارند و در بروز آن نقش دارند. اگرچه استعداد ابتلا به دیابت نوع ۲ در افراد به دلیل عوامل خطر غیرقابل اصلاح (قومیت و سابقه خانوادگی/استعداد ژنتیکی) پایه ژنتیکی دارد، شواهد حاصل از مطالعات اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد می‌توان با بهبود عوامل خطر قابل اصلاح اصلی (چاقی، فعالیت بدنی کم و رژیم غذایی ناسالم) از دیابت نوع ۲ پیشگیری کرد (۵).

آدیپوکاین‌ها گروهی از پروتئین‌های سیگنال‌دهنده هستند که توسط بافت چربی تولید می‌شوند. آن‌ها نقش‌های کلیدی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله متابولیسم انرژی، التهاب، حساسیت به انسولین و کنترل اشتها دارند (۶). سافاتین (Subfatin) یک آدیپوکاین تازه کشف شده است که توسط بافت چربی و عضله اسکلتی ترشح می‌شود. گزارش شده است که سافاتین حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد و همچنین اثرات ضد التهابی دارد (۷). برخی مطالعات نشان داده‌اند که سطح سافاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ در مقایسه با گروه کنترل پایین‌تر است. این مطالعات گزارش داده‌اند که سطح پایین سافاتین ممکن است با بدتر شدن تحمل گلوکز مرتبط باشد و بین سطح سافاتین و سطح انسولین و شاخص مقاومت به انسولین همبستگی منفی وجود دارد (۸، ۹). در مورد اثرات مثبت سافاتین بر حساسیت به انسولین، مطالعات نشان داده‌اند که این آدیپوکاین فسفوریلاسیون AKT القا شده توسط انسولین را افزایش می‌دهد، بنابراین پیشنهاد شده است که کمبود سافاتین منجر به مقاومت به انسولین در آدیپوسیت‌ها می‌شود (۷، ۱۰). برخی مطالعات پیشنهاد می‌کند که، سافاتین ممکن است حساسیت به انسولین را افزایش دهد، مصرف انرژی را افزایش دهد و متابولیسم لیپید را تنظیم کند (۱۰). به نظر می‌رسد افزایش سافاتین، بیان ژن‌های مرتبط با سیتوکین‌های ضد التهابی بزرگ و ترموژن چربی را افزایش می‌دهد، تحمل گلوکز را افزایش می‌دهد و مصرف انرژی را افزایش می‌دهد (۷). با این حال، داده‌های متناقضی در مورد سطح گردش سافاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ وجود دارد (۱۱، ۱۲). علاوه بر این مشخص شده است که بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ از افزایش بیان سایتوکاین‌های پیش التهابی رنج می‌برند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که سافاتین با افزایش بیان اینترلوکین-۴ (IL-4)، سایتوکاین‌های ضد التهابی را افزایش می‌دهد (۷، ۱۳). چانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که IL-4 با افزایش حساسیت به انسولین، تحمل گلوکز و مهار رسوب لیپید، متابولیسم گلوکز و لیپید را تنظیم می‌کند (۱۴). مطالعات پیشنهاد می‌کند که نقش تنظیمی مثبت IL-4 در تحمل گلوکز و حساسیت به انسولین ممکن است از عملکرد ضد التهابی آن با مهار تولید سایتوکاین‌های القاکنده مقاومت به انسولین، مانند TNF- α و IL-6، ناشی شود (۱۵). با این حال هنوز در این زمینه نیاز به مطالعات بیشتری احساس می‌شود.

عوامل سبک زندگی مانند رژیم غذایی و فعالیت بدنی، درمان‌های اصلی دیابت نوع ۲ هستند. ورزش و تمرینات هوازی به عنوان یک درمان چندوجهی شناخته می‌شود که می‌تواند تعدادی از عوامل خطر قلبی-متابولیک، مانند هایپرگلیسمی و مقاومت به انسولین را در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ بهبود بخشد (۱۵-۱۷). انواع تمرینات ورزشی ساختاریافته توسط مطالعات متعددی به عنوان یک جزء حیاتی در مدیریت دیابت نوع ۲ شناخته شده‌اند. یکی از این نوع تمرینات ورزشی، تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) است و اگرچه اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده است، اما پتانسیل تجویز انواع HIIT برای به طور کامل بررسی

نشده است (۱۸). از طرفی، پروتکل‌های سنتی HIIT به طور خاص از نظر زمانی کارآمد نیستند و معمولاً به ۳۰ تا ۴۰ دقیقه در هر جلسه نیاز دارند (۱۹). از این رو، پیشنهاد شده است که تمرکز به سمت مداخلات تمرین تناوبی با شدت بالا با زمان کارآمدتر، حجم کم و بازدهی بیشتر تغییر یابد. این نوع تمرین به حداقل زمان نیاز دارد و ممکن است با پاسخ‌های ادراکی قابل قبول‌تری همراه باشد (۱۹، ۲۰). یک متاآنالیز اخیر شامل ۶۷ مداخله HIIT گزارش داد که زمان HIIT طولانی‌تر در هر جلسه یا هفته، عدم پایبندی به تمرین بیشتر را پیش‌بینی می‌کند (۲۱). HIIT کم حجم، که معمولاً کمتر از ۱۵ دقیقه ورزش با شدت بالا در هر جلسه است، به دلیل ماهیت زمان-کارآمد و مزایای سلامتی ادعایی‌اش، به طور فزاینده‌ای در جمعیت‌های سالم و بالینی مورد توجه قرار گرفته است (۲۲). یافته‌های حاصل از مطالعات اخیر نشان می‌دهد که HIIT کم حجم می‌تواند با وجود نیاز به زمان و انرژی کمتر، پیشرفت‌های مشابه و گاهی اوقات بیشتری در آمادگی قلبی-تنفسی، کنترل گلوکز، فشار خون و عملکرد قلب ایجاد کند (۲۳-۲۵). با این حال، مطالعات بیشتری برای تأیید این فرض و مکانیسم‌های دقیق آن مورد نیاز است. با توجه به اینکه کمبود وقت یکی از رایج‌ترین موانع فعالیت بدنی و ورزش در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ است، HIIT کم حجم ممکن است یک استراتژی مؤثر از نظر زمان برای بهبود فاکتورهای مرتبط با گسترش دیابت نوع ۲ باشد (۲۵-۲۸). مطالعات معدودی با همین هدف، به بررسی تأثیر تمرینات HIIT کم حجم در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداخته‌اند که یافته‌ها متفاوت بوده است. با این حال، لیتل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تمرینات تناوبی کم حجم و با شدت بالا باعث کاهش هیپرگلیسمی و افزایش ظرفیت میتوکندری عضلانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود (۲۷). مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تمرینات HIIT با حجم کم در مقایسه با تمرینات مداوم با شدت متوسط بر کنترل قند خون و ترکیب بدن در زنان مسن مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند. در این مطالعه محققان گزارش کردند که علی‌رغم مزیت‌های این نوع تمرینات، بهبود معنادار گلوکز ناشتا و هموگلوبین گلیکوزیله فقط در گروه تمرینات تمرینات پیوسته گزارش شده است که با یافته‌های مطالعه ما متفاوت می‌باشد (۲۹). از این رو بررسی تأثیر این نوع تمرین به ویژه در بیماران مبتلا به دیابت مورد توجه محققان قرار گرفته است.

مطالعات متعددی اثرات تمرینات ورزشی مختلف را بر سطح سافاتین و IL-4، به ویژه در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، بررسی کرده‌اند (30-32). با توجه به اثرات مطلوب فعالیت بدنی بر آدیپوکاین‌های دخیل در توسعه دیابت، هدف ما در این مطالعه بررسی اثرات احتمالی تمرین HIIT کم حجم بر سافاتین و IL-4 در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ بود. این اطلاعات ممکن است بینش‌های جدیدی را در مطالعات آینده در مورد مکانیسم‌های جدید چگونگی تعدیل مسیرهای پایین‌دستی، توسط تمرینات ورزشی برای درمان دیابت ارائه دهد. از طرفی با توجه اهمیت دست‌یابی به بهترین پروتکل‌های تمرینی و کارآمد از نظر زمان، و اینکه آیا تمرینات تناوبی شدید کم حجم را می‌توان به عنوان یک برنامه تمرینی مؤثر برای بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ تجویز نمود یا خیر، هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تمرینات تناوبی شدید کم حجم بر سافاتین و اینترلوکین-۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: این مطالعه نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون با دو گروه تجربی و کنترل در زمستان سال ۱۴۰۴ اجرا شد. جامعه آماری مطالعه حاضر شامل مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود. معیارهای ورود شامل تشخیص دیابت نوع ۲ (مطابق با معیارهای انجمن دیابت آمریکا) حداقل به مدت ۲ سال (۳۳)، مرد بودن، سن ۳۰ تا ۵۵ سال، عدم تشخیص هرگونه بیماری قلبی عروقی، اسکلتی عضلانی و متابولیکی که ورزش کردن را محدود می‌کند، عدم فعالیت بدنی منظم در ۶ ماه گذشته و عدم تزریق انسولین بود.

روش پژوهش: پس از اطلاع‌رسانی عمومی در سطح شهر، از میان داوطلبانی که تمایل به مشارکت در پژوهش داشتند، ثبت‌نام به عمل آمد. سپس، با ارزیابی شرایط افراد، شرکت‌کنندگانی که واجد معیارهای ورود به مطالعه بودند، انتخاب شدند. اهداف و پروتکل مطالعه برای داوطلبان شرکت در طرح توضیح داده شد و آنها در مورد مزایا و خطرات احتمالی شرکت در مطالعه آگاه شدند و از همه شرکت‌کنندگان رضایت کتبی آگاهانه اخذ شد. یک پزشک ارزیابی بالینی اولیه را انجام داد که شامل بررسی سابقه پزشکی، تکمیل پرسشنامه آمادگی برای فعالیت بدنی و انجام معاینه بدنی بود تا از سلامت آنها برای شرکت در مداخله اطمینان حاصل شود. حجم نمونه در مطالعه حاضر با استفاده از نرم افزار G Power و با کمک اندازه اثر متغیرهای مطالعات پیشین، اندازه اثر = ۰/۵، (۳۴)، سطح آلفای ۰/۰۵ و توان ۰/۸ برای هر گروه ۱۱ نفر محاسبه شد. در نهایت از بین ثبت نام کنندگانی که شرایط و معیارهای مطالعه را دارا بودند ۲۲ شرکت کننده انتخاب شدند. پس از اندازه‌گیری‌های اولیه، آزمودنی به طور تصادفی به دو گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم (۱۱ نفر) و گروه کنترل (۱۱ نفر) تقسیم شدند.

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتری و نمونه‌های خونی در دو مرحله ۴۸ ساعت قبل از شروع دوره تمرینات ورزشی و ۴۸ پس از آخرین جلسه تمرینی گرفته شدند. در طول مطالعه یک نفر از گروه تجربی و یک نفر از گروه کنترل به دلایل شخصی از حضور در طرح انصراف دادند. اجرای این طرح پس از تایید کمیته اخلاق دانشگاه زابل به شماره IR.UOZ.REC.1403.030 انجام گرفت. شاخص‌های آنتروپومتری آزمودنی‌ها شامل قد، وزن، توده چربی بدن و شاخص توده بدنی با حداقل لباس و بدون کفش اندازه‌گیری شد. وزن آزمودنی‌ها با ترازوی ساخت آلمان با دقت ۰/۱ کیلو گرم و قد آنها توسط متر نواری با دقت ۰/۵ سانتی متر اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدنی از تقسیم وزن بدن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر مربع) محاسبه شد. ترکیب بدنی آزمودنی‌ها با استفاده از دستگاه Body composition (ساخت کره JAWON X-CONTACT 350F) ارزیابی شد.

برنامه تمرینی: برنامه تمرینی به مدت ۸ هفته، سه جلسه در طول هفته در گروه تجربی برگزار شد. آزمودنی‌ها در گروه تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم جلسه تمرین را با گرم کردن در ۶۵ تا ۷۰ در صد ضربان قلب بیشینه به مدت پنج دقیقه آغاز می‌کردند. در هفته‌های اول تا چهارم، دو بازه چهار دقیقه ای (۴×۲ دقیقه)، با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، با ریکاوری فعال سه دقیقه ای با شدت ۶۵ تا ۷۵ در صد ضربان قلب بیشینه، دویند. در هفته‌های پنجم تا هشتم در سه بازه چهار دقیقه ای، به تمرین پرداختند. در نهایت، تمرین با یک دوره سرد کردن پنج دقیقه ای به پایان می‌رسید. شدت تمرین با استفاده از ضربان سنج پلار کنترل شد. مدت کل جلسه تمرین ۲۱ تا ۲۸ دقیقه بود. برنامه تمرینی برگرفته و اصلاح شده از پروتکل احمد و همکاران ۲۰۲۳ بود (۳۵). آزمودنی‌ها پیش از آغاز مداخله در دو جلسه با نحوه اجرای تمرین آشنا شدند. اندازه‌گیری‌ها و متغیرهای آنتروپومتری، شامل قد، وزن بدن، توده چربی بدن و شاخص توده بدنی، در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شدند. وزن و قد بدن با استفاده از ترازوی پزشکی اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدنی با استفاده از فرمول BMI=وزن/قد (متر مربع) محاسبه شد. اندازه‌گیری‌های ترکیب بدن با استفاده از دستگاه آنالیز ترکیب بدن (InBody JAWON X-CONTACT 350F، کره جنوبی) در حالت هیدراتاسیون طبیعی ارزیابی شدند.

روش‌های آزمایشگاهی: برای انجام فرآیند خونگیری، آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت قبل از اولین جلسه تمرینی و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی پس از ۱۲ ساعت ناشتایی، ساعت ۸ صبح در محل آزمایشگاه حضور پیدا کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که دو روز قبل از نمونه‌گیری خون، هیچ فعالیت بدنی شدیدی انجام ندهند. نمونه‌های خونی پس از جمع‌آوری سانتریفیوژ شده و پس از جداسازی سرم، تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شدند. غلظت اینترلوکین ۴ با استفاده از کیت الایزای اینترلوکین ۴ انسانی (۱۰۰-۱۵۶ pg/ml) محدود سنجش، ۰/۴۸ pg/ml حساسیت، ساخت

شرکت SunLong Biotech، چین) و غلظت سابفاتین با استفاده از کیت الایزای سابفاتین انسانی (20 ng/ml - 0.3 ng/ml) محدود سنجش، 0.5 ng/ml حساسیت، ساخت شرکت SunLong Biotech، چین) تعیین شد. گلوکز ناشتا با استفاده از روش های آنزیمی (شرکت پارس آزمون، تهران، ایران) اندازه گیری شدند.

تحلیل آماری: جهت بررسی طبیعی بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. بعد از حصول اطمینان نرمال بودن توزیع داده ها، روش آماری پارامتریک بکار گرفته خواهد شد. از آزمون لون برای بررسی برابری همگنی واریانس ها استفاده شد. برای مقایسه اندازه گیری های اولیه متغیرهای مطالعه بین دو گروه از روش آماری تی مستقل استفاده شد. برای مقایسه داده های بین گروهی، از تحلیل کوواریانس و برای بررسی تغییرات درون گروهی آزمون تی زوجی استفاده شد. تمامی تحلیل ها در سطح معنی داری $P < 0.05$ انجام شده و برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که در اندازه گیری های اولیه متغیرهای مطالعه بین دو گروه تفاوت معنی داری وجود ندارد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات و ویژگی های تن سنجی آزمودنی ها پیش از شروع مطالعه

سن (سال)	گروه تجربی	گروه کنترل	مقادیر p
۵۰/۷۰ ± ۴/۲۷	۴۸/۱۰ ± ۵/۳۰	۰/۲۴۳	
۱/۷۲ ± ۰/۰۶	۱/۷۰ ± ۰/۰۷	۰/۵۵۱	
۸۲/۳۱ ± ۷/۰۷	۸۰/۵۶ ± ۶/۱۶	۰/۵۸۵	
۲۷/۸۱ ± ۲/۱۹	۲۸/۱۳ ± ۴/۱۳	۰/۸۳۴	
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)			

داده ها بر اساس میانگین ± انحراف استاندارد ارائه شده است.

در مطالعه حاضر برای مقایسه یافته ها و داده های بین گروهی از روش آماری آنالیز کواریانس استفاده شد. نتایج نشان داد که پس از هشت هفته، در برخی شاخص ها تفاوت معناداری بین دو گروه تجربی و کنترل مشاهده می گردد. این نتایج نشان داد که پس از هشت هفته تمرین تناوبی شدید کم حجم وزن بدن ($F=5/92$ ، $p=0.258$ ، اندازه اثر $p=0.026$)، شاخص توده بدنی ($F=6/33$ ، $p=0.271$ ، اندازه اثر $p=0.022$)، توده چربی بدن ($F=4/63$ ، $p=0.214$ ، اندازه اثر $p=0.046$) و گلوکز ناشتا ($F=9/82$ ، $p=0.366$ ، اندازه اثر $p=0.006$) در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری کاهش یافت (جدول ۲).

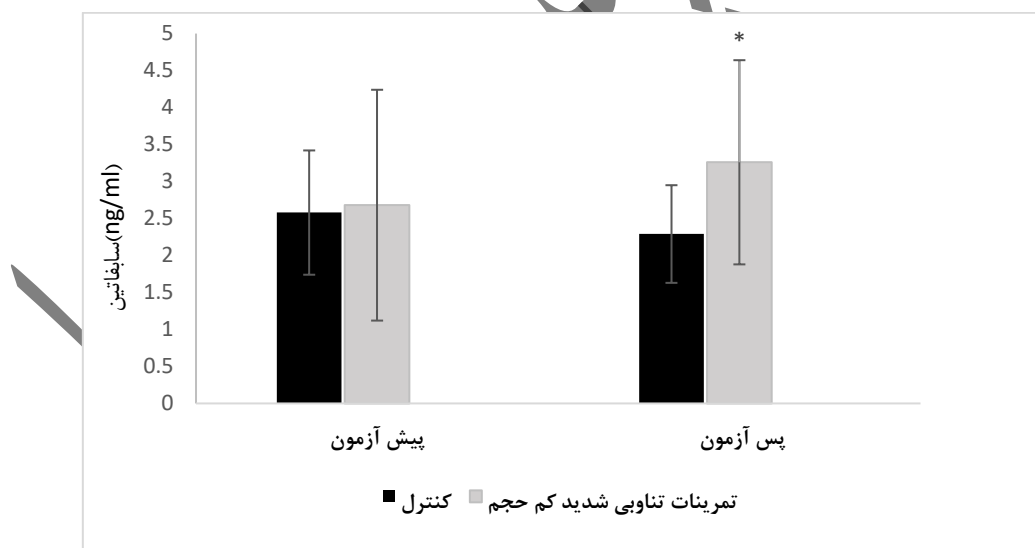
جدول ۲. مقادیر بیوشیمیایی و تن سنجی آزمودنی ها قبل و پس از مداخله

HIIT کم حجم		گروه کنترل				مقادیر	
پیش آزمون	پس آزمون	P درون گروهی	پیش آزمون	پس آزمون	P درون گروهی	اندازه اثر	F
۸۲/۲۱ ± ۷/۰۷	۸۱/۴۹ ± ۶/۹۲*	۰/۰۸	۸۰/۵۶ ± ۶/۱۶	۸۰/۹۵ ± ۶/۶۲	۰/۱۵	۰/۲۵۸	۵/۹۲
۲۷/۸۱ ± ۲/۱۹	۲۷/۵۷ ± ۲/۲۹*	۰/۰۸	۲۸/۱۳ ± ۴/۱۳	۲۸/۲۸ ± ۴/۳۲	۰/۱۲	۰/۲۷۱	۶/۳۳
شاخص توده بدنی							

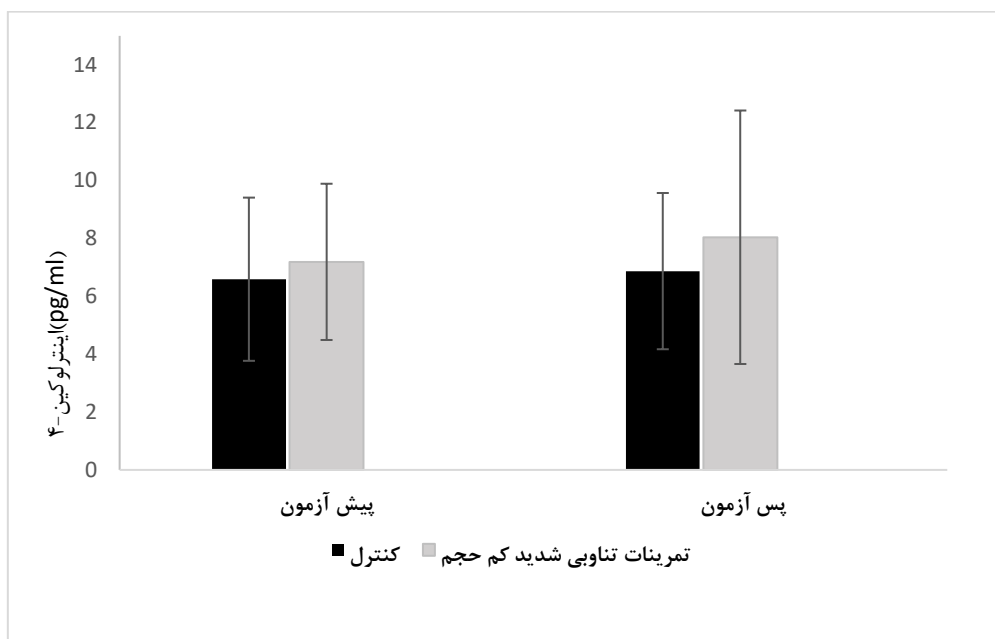
(کیلوگرم بر متر مربع)								
(مربع)								
۴/۶۳	۰/۲۱۴	۰/۰۴۶	۰/۲۸	۲۵/۷۶±۵/۵۶	۲۵/۳۵±۵/۶۱	۰/۰۷	۲۲/۲۲±۳/۹۷*	۲۳/۰۹±۲/۵۶
توده چربی بدن (کیلوگرم)								
۹/۸۲	۰/۳۶۶	۰/۰۰۶	۰/۸۴	۱۵۱/۹۰±۴۱/۱۱	۱۵۰/۶۰±۴۴/۴۰	۰/۰۰۱	۱۱۹/۶۰±۱۲/۸۵**	۱۳۴/۸۰±۱۱/۱۶
گلوکز ناشتا (mg/dL)								
۱۵/۳۶	۰/۴۷۵	۰/۰۰۱	۰/۱۴۰	۲/۲۹±۰/۶۶	۲/۵۸±۰/۸۴	۰/۰۱۱	۳/۲۶±۱/۳۸**	۲/۶۸±۱/۵۶
سابفاتین (ng/ml)								
۱/۴۷	۰/۰۸۰	۰/۲۴۱	۰/۶۶۹	۶/۸۷±۲/۷۰	۶/۵۹±۲/۸۲	۰/۱۹۵	۸/۰۴±۴/۳۸	۷/۱۹±۲/۷۰
اینترلوکین-۴ (pg/ml)								

* تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل. # نشان دهنده تفاوت معنادار در مقایسه با پیش آزمون. داده‌ها بر اساس میانگین $\pm$ انحراف استاندارد ارائه شده است.

همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود نتایج نشان داد که پس از هشت هفته تمرین تناوبی شدید کم حجم سابفاتین در مقایسه با گروه کنترل به طور معناداری افزایش یافته است ($F=15/36$ ، $p=0/001$ ، اندازه اثر $=0/475$). با این حال، پس از ۸ هفته، تفاوت معناداری در اینترلوکین-۴ بین دو گروه مشاهده نشد ($F=1/47$ ، $p=0/241$ ، اندازه اثر $=0/08$).



نمودار ۱. تغییرات میانگین سطح سابفاتین آزمودنی‌ها در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم و گروه کنترل قبل و بعد از ۸ هفته (میانگین داده‌ها قبل و بعد از مداخله $\pm$ انحراف معیار). نتایج نشان می‌دهد سطح سابفاتین در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری افزایش یافته است. * تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل



نمودار ۲. تغییرات میانگین سطح اینترلوکین-۴ آزمودنی‌ها در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم و گروه کنترل قبل و بعد از ۸ هفته (میانگین داده‌ها قبل و بعد از مداخله $\pm$ انحراف معیار). همانطور که مشاهده می‌شود بعد از ۸ هفته مداخله سطح اینترلوکین-۴ در گروه تمرین تناوبی شدید کم حجم در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافته است اما این افزایش معنادار نبود. به نظر می‌رسد طول دوره تمرینی کوتاه، و حجم کم تمرین در هر جلسه از مهمترین دلایل افزایش غیر معنادار اینترلوکین-۴ باشد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که وزن بدن، شاخص توده بدنی، توده چربی بدن و گلوکز ناشتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ پس از ۸ هفته تمرین HIIT کم حجم به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین، در مطالعه حاضر سطح سابفاتین در گروه HIIT کم حجم در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری افزایش یافت. با این حال تغییر معنی داری در سطح اینترلوکین-۴ مشاهده نشد.

مطالعات معدودی به بررسی تاثیر تمرینات HIIT کم حجم در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداخته اند که یافته‌ها تا حدی متفاوت است. لیتل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تمرینات تناوبی کم حجم و با شدت بالا باعث کاهش هیپرگلیسمی و افزایش ظرفیت میتوکندری عضلانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌گردد (۲۷). احمد و همکاران (۲۰۲۳) به مقایسه تاثیر تمرینات تناوبی شدید کم حجم و حجم بالا بر کنترل قند خون و کیفیت زندگی در زنان چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند. آنها گزارش کردند که HIIT با حجم کم می‌تواند به همان اندازه HIIT با حجم بالا برای بهبود کلسترول تام، HDL، فشار خون و معیارهای چاقی آنتروپومتریک در زنان چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ موثر باشد. با این وجود، با این موضوع نیز اشاره داشتند که HIIT با حجم بالا می‌تواند تاثیر بیشتری بر کنترل قند خون، تری گلیسرید، LDL و آمادگی قلبی تنفسی در این بیماران داشته باشد (۳۵). ویندینگ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی و مقایسه تاثیر تمرین تناوبی با شدت بالا با حجم کم و تمرینات استقامتی بر کنترل قند خون در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند. این مطالعه نشان داد که علیرغم کاهش ۴۵ درصدی حجم تمرین، HIIT در مقایسه با تمرین استقامتی منجر به بهبودهای مشابه یا حتی بهتری در آمادگی بدنی، ترکیب بدن و کنترل قند خون می‌شود و پیشنهاد دادند که HIIT با حجم کم ممکن است یک استراتژی درمانی مهم و کارآمد برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ در نظر گرفته شود (۲۸). با این حال مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تمرینات HIIT با حجم کم در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط بر کنترل قند خون و ترکیب بدن در زنان مسن مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند. این محققان مطالعه گزارش کردند که علی‌رغم مزیت‌های این نوع تمرینات، بهبود معنادار گلوکز ناشتا و هموگلوبین گلوکوزیله فقط در گروه تمرینات تمرینات تداومی گزارش شده است که با یافته‌های مطالعه ما متفاوت است. مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) تفاوت‌های متابولیکی آزمودنی‌های سالمند، به همچنین تفاوت در نوع آزمودنی‌ها به ویژه بانوان و نداشتن گروه کنترل را از دلایل احتمالی مشاهده چنین یافته‌هایی گزارش کردند (۲۹). به نظر می‌رسد یکی از مهمترین تفاوت‌های مطالعات فوق تفاوت در نوع آزمودنی‌ها و تفاوت در حجم تمرین و طول دوره مداخله باشد. به طوریکه مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) نقش تفاوت‌های متابولیکی آزمودنی‌های سالمند با آزمودنی‌های جوانتر و تفاوت‌های جنسیتی آزمودنی‌ها (سازگاری‌های مختص جنس) در پاسخ به تمرینات را از مهمترین عوامل اثرگذار بیان کردند (۲۹).

در مطالعه حاضر، سطح سابفاتین در گروه HIIT کم حجم پس از ۸ هفته به طور معنی داری افزایش یافت که با یافته‌های برخی مطالعات مشابه است. آکبولات و همکاران (۲۰۲۲) اثرات انواع مختلف تمرین منظم را بر سطح سابفاتین و آسپرو سین بررسی کردند و افزایش معنی دار سابفاتین را در تمام گروه‌های تمرین مقاومتی، هوازی و HIIT گزارش کردند (۳۰). علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی اثرات تمرین مقاومتی دایره‌ای بر پروتئین شبه متئورین (سابفاتین)، اینترلوکین-۴ (IL-4)، اینترلوکین-۱۳ (IL-13) و نشانگرهای سلامت متابولیک در افراد دارای اضافه وزن پرداختند. آنها گزارش کردند که تمرین مقاومتی دایره‌ای به طور معناداری ترشح سابفاتین و اینترلوکین ۴ را افزایش می‌دهد و به طور بالقوه در بهبود عملکردهای ایمنی و متابولیک در افراد دارای اضافه وزن نقش دارد. همچنین وزن بدن، BMI، درصد چربی بدن را به طور معنی داری کاهش یافت و پروفایل لیپیدی، گلوکز، انسولین و مقاومت به انسولین را در بهبود بخشید (۳۶). سعیدی و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که با توجه به نقش مهم سابفاتین در کاهش مقاومت به انسولین و بافت چربی، و همچنین ارتباط آن با عوامل خطر قلبی عروقی مانند LDL، HDL، کلسترول و تری گلیسرید، افزایش سطح سابفاتین از طریق ورزش منظم می‌تواند سلامت را در جمعیت چاق و دیابتی بهبود بخشد (۳۲). دژکام و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی اثر شش هفته تمرینات هوازی بر سطح سابفاتین و شاخص مقاومت به انسولین در زنان جوان دارای اضافه‌وزن و چاق پرداختند و پیشنهاد کردند

که اجرای شش هفته تمرین هوازی در زنان جوان دارای اضافه وزن و چاق احتمالاً به واسطه افزایش سطوح سافاتین منجر به بهبود مقاومت به انسولین می گردد (۳۷). با این حال برخی مطالعات یافته های متفاوتی با مطالعه حاضر گزارش کرده اند. بخشی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین تناوبی بر سطوح سرمی پروتئین شبه متورین و اینترلوکین ۶ (IL-6) در رت های نر مبتلا به سندرم متابولیک پرداختند و گزارش کردند که انجام ۸ هفته تمرین تناوبی نتوانست بر سطح سرمی سافاتین تأثیر معنی داری (افزایش غیرمعنی دار) داشته باشد؛ با این حال، سطح سرمی IL-6 در گروه سندرم متابولیک افزایش معنی داری داشت (۳۸). مطالعات نشان داده اند که انواع مختلف تمرینات ورزشی، می تواند تأثیرات مختلفی در سطوح سایتوکاین ها داشته باشند؛ علاوه بر این، تفاوت در نوع آزمودنی ها، نوع بیماری، طول مدت تمرین و مدت زمان تمرینات نیز بر نتایج مربوط به سافاتین اثرگذار هستند (۳۹). بخشی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که دلایل عدم مشاهده تغییر معنادار سطح سافاتین در مطالعه آنها، به تفاوت در نوع آزمودنی ها، شدت، مدت، زمان و حجم تمرین مرتبط باشد. آنها گزارش کردند که احتمالاً شدت تمرینات حاضر جهت تحریک عوامل رونویسی داخل سلولی کافی نبوده است و احتمال داشت با افزایش طول دوره تمرین به بیش از ۸ هفته، تغییرات معنی دار در سافاتین نیز مشاهده شود. از طرفی مطالعه بخشی و همکاران (۱۴۰۰) روی نمونه های حیوانی مبتلا به سندرم متابولیک و در شدت ۷۵-۶۰ درصد سرعت بیشینه انجام شد که نسبت به شدت های تمرینی مطالعه حاضر متفاوت و پایینتر بوده است (۳۸). برخی مطالعات نشان داده اند که افزایش سافاتین ناشی از ورزش با سطح گلوکز خون همبستگی منفی دارد. در مطالعه ای، لی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که تغییرات در سطح سافاتین می تواند تغییرات گلوکز خون را پیش بینی کند. آنها نشان دادند که افزایش غلظت سافاتین ناشی از انقباضات عضلانی ناشی از ورزش از طریق تحریک و فسفوریلاسیون AMPK و افزایش بیان GLUT4 در غشاهای سلولی باعث جذب گلوکز و بهبود عدم تحمل گلوکز می شود (۳۹). در مطالعه ای علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) اثرات مثبت افزایش سافاتین بر حساسیت به انسولین را گزارش کردند. همچنین مطالعات نشان داده است که سافاتین تمایز آدیپوسیت های سفید و متابولیسم لیپید را افزایش می دهد، در حالی که التهاب چربی را نیز مهار می کند، که همه اینها به افزایش عملکرد انسولین کمک می کنند (۴۰). علاوه بر این، گزارش شده است که سافاتین جذب گلوکز را در سلول های ماهیچه اسکلتی افزایش می دهد و تحمل گلوکز را در مدل های حیوانی چاقی و دیابت نوع ۲ بهبود می بخشد (۳۹). در مطالعه ای، گزارش شد که تمرینات دایره ای مقاومتی سطح استراحتی سافاتین را در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ افزایش می دهد، که به طور قابل توجهی با بهبود سطح قند خون ناشتا و مقاومت به انسولین مرتبط بود (۴۱) که با یافته های مطالعه حاضر مبنی بر کاهش معنادار گلوکز ناشتا مطابقت دارد و این فرضیه را تقویت می کند که افزایش سافاتین ناشی از مداخلات ورزشی ممکن است یک واسطه کلیدی در بهبود کاهش سطح گلوکز ناشتا در شرکت کنندگان در مطالعه حاضر باشد. این امر بیشتر از این مفهوم پشتیبانی می کند که تعدیل سافاتین ممکن است یک رویکرد درمانی امیدوارکننده برای گلوکز خون ناشتا و کنترل دیابت نوع ۲ باشد. بررسی ها نشان می دهد که افزایش سطوح در گردش هورمون سافاتین سبب افزایش هزینه ی انرژی، قهوه ای شدن بافت چربی سفید و افزایش حساسیت انسولینی بافت چربی سفید می گردد (۷). هورمون شبه متورین با شیفیت ماکروفاژی و متعاقباً افزایش بیان هورمون اپی نفرین، ژن های اکسیداتیو و UCP1 سبب افزایش اکسایش تری گلیسریدها و قهوه ای شدن بافت چربی سفید می شود. راثو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تغییرات هورمون سافاتین این احتمال وجود دارد که افزایش سطوح در گردش سافاتین در اثر شش هفته تمرین تناوبی سرعتی در بهبود متابولیسم گلوکز و چربی سهیم باشد (۷).

مطالعه حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین HIIT کم حجم، تأثیر معنی داری بر سطح IL-4 در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ ندارد. مطالعات مختلفی تأثیر انواع مختلف تمرینات ورزشی را بر سطح IL-4 بررسی کرده اند که یافته های آنها تا حدودی متفاوت بوده است. ضابطیان و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی را بر سطح سرمی اینترلوکین-۲ و IL-4 در مردان غیرفعال بررسی کردند و افزایش غیرمعنی داری در سطح سرمی IL-2 و IL-4 پس از یک برنامه تمرین استقامتی ۸ هفته ای را مشاهده کردند (۴۲). کانروی و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر تمرین هوازی را بر سطوح IL-4 و IL-10 در زنان غیرفعال، سالم و یائسه را مورد بررسی قرار دادند و تفاوت معنی داری بین گروه های مطالعه در سطح IL-4 گزارش نکردند (۴۳). کانروی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که یکی از دلایل عدم تأثیر مطالعات مداخله ورزشی روی IL-4 و IL-10 در گردش خون، ممکن است به پروفایل متابولیک و التهابی طبیعی کلی

در افراد سالم، در مقایسه با افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن، و در نتیجه پاسخ تطبیقی کمتر به اثرات ضد التهابی ناشی از ورزش در رابطه با افزایش سطوح پایه مرتبط باشد (۴۳). بوید و همکاران (۲۰۱۲) اثر ۱۲ هفته برنامه تمرین هوازی با شدت ۶۰ الی ۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب را در شاخص‌های التهابی سرم افراد مبتلا به آسم بررسی کردند و تغییر معنی داری در سطح سرمی IL-4 و سایر اینترلوکین‌های ارزیابی شده گزارش نکردند (۴۴). با این حال، علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که تمرین مقاومتی دایره‌ای در افراد دارای اضافه وزن به طور معنی داری IL-4 را افزایش می‌دهد (۳۶). مطالعات همیشگی بیان کرده‌اند که ارتباط بین ورزش و سایتوکاین‌ها پیچیده و بحث‌برانگیز است. شدت تمرین، وضعیت تمرینی آزمودنی‌ها، محل اندازه‌گیری سایتوکاین (مثلاً بافت، پلاسما یا ادرار)، ویژگی و حساسیت روش‌های اندازه‌گیری و نوع سایتوکاین‌ها، همگی در این رابطه نقش دارند (۴۵). یافته‌های مطالعه حاضر از این فرضیه که ورزش هوازی منظم منجر به افزایش سطح پایه IL-4 می‌شود، پشتیبانی نمی‌کند. به نظر می‌رسد عوامل متعددی در وقوع و مشاهده چنین نتایجی دخیل باشند، از جمله تفاوت در نوع آزمودنی‌ها (سالم یا بیمار)، سطح پایه سایتوکاین و مدت زمان دوره تمرین و حجم تمرین (۴۳). مطالعات گزارش کرده‌اند که در افراد با سطوح پایه IL-4 پایین یا تعادل التهابی خنثی (مانند بیماران دیابت بدون التهاب شدید)، مداخلات ورزشی چند هفته‌ای نمی‌توانند تغییر معناداری ایجاد کنند، زیرا پتانسیل افزایش محدود است (31). همچنین استرس اکسایشی یا آسیب عضلانی ناکافی در پروتکل‌های کم‌حجم، مانع از آزادسازی سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-4 می‌شود (۴۶، ۴۷). به نظر می‌رسد مدت زمان کوتاه دوره تمرین (هشت هفته) و حجم کم تمرین در یک جلسه یکی از دلایل عدم وجود چنین نتایجی به ویژه در مطالعه حاضر باشد.

یکی از محدودیت‌های مهم پژوهش حاضر، عدم کنترل رژیم غذایی و فعالیت بدنی خارج از برنامه تمرینی آزمودنی‌ها بود. رژیم غذایی آزمودنی‌ها در مطالعه حاضر ثبت نشد. با توجه به تأثیرات احتمالی اصلاح یا تغییر رژیم غذایی بر نتایج نهایی مطالعه، آزمودنی‌ها در طول مطالعه هیچ گونه مشاوره غذایی دریافت نکردند و از آزمودنی‌ها خواسته شد رژیم غذایی قبلی خود را ادامه دهند. از طرفی با توجه اینکه ثبت اطلاعات رژیم غذایی ممکن بود منجر به افزایش آگاهی، حساسیت آزمودنی روی رژیم غذایی آنها و در نهایت تغییر الگوی رژیم غذایی شود (۴۸، ۴۹) تصمیم گرفته شد که ثبت اطلاعات رژیم غذایی نیز انجام نشود. همچنان که در بالا ذکر شد یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر عدم کنترل فعالیت بدنی خارج از برنامه تمرینی آزمودنی‌ها بود اگرچه به آزمودنی‌ها توصیه شده بود که غیر از برنامه تمرینی فعالیت ورزشی دیگر در طول دوره مداخله نداشته باشند.

نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌کند که تمرین تناوبی شدید کم‌حجم ممکن است در کاهش وزن و توده چربی بدن، گلوکز ناشتا و بهبود سطوح ساقفاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ موثر باشد. این نتایج پیشنهاد می‌کند که تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم برای بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ گزینه‌ای مؤثر، کارآمد و کم‌هزینه می‌باشد. این نوع تمرین با صرفه‌جویی در زمان تمرین، به ویژه برای بیمارانی که با محدودیت زمانی مواجه هستند توصیه می‌گردد. با این حال، شدت بالای این نوع تمرینات شاید برای همه بیماران قابل تحمل نبوده و بیماران پیش از اجرای این نوع تمرینات باید مورد ارزیابی بالینی و پزشکی قرار بگیرند. با این حال تمرین تناوبی شدید کم‌حجم تأثیری در سطوح IL-4 بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ نداشت. با توجه به اثربخشی تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم در دیابت نوع ۲، چند محور مهم برای تحقیقات آینده قابل پیشنهاد است. انجام مطالعات پژوهشی بزرگ‌تر با حجم نمونه بالاتر، دوره‌های مداخله طولانی‌تر و مقایسه آن با تمرینات تداومی با حجم یکسان نتایج پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از حمایت‌های دانشگاه نیشابور و تمامی عزیزان و شرکت‌کنندگانی که ما را در انجام تحقیق حاضر یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

حمایت مالی

این تحقیق مستخرج از طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه نیشابور می باشد.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی ایده و اجرای پژوهش مشارکت داشتند. دست نوشته اولیه توسط مهدی زارعی و جواد نخزری خداخیر نگارش شد. تهیه، گردآوری و تحلیل داده‌ها توسط، مهدی زارعی، کاظم خدایی و جواد نخزری انجام گرفت. مهدی زارعی، کاظم خدایی، آرش محمدی و جواد نخزری در بررسی و ویرایش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان نسخه نهایی دست نوشته را بررسی و تأیید کردند.

تعارض منافع

نویسندگان در این پژوهش هیچگونه تعارض منافی را اعلام نکرده‌اند.

۱. Młynarska E, Czarnik W, Dzieża N, Jędraszak W, Majchrowicz G, Prusinowski F, et al. Type 2 diabetes mellitus: new pathogenetic mechanisms, treatment and the most important complications. *International journal of molecular sciences*. 2025;26(3):1094. doi: 10.3390/ijms26031094
۲. Gong JY, Sajjadi SF, Motala AA, Shaw JE, Magliano DJ. Variation in type 2 diabetes prevalence across different populations: the key drivers. *Diabetologia*. 2025;68(11):2327-39. doi: 10.1007/s00125-025-06478-4
۳. Chatterjee S, Khunti K, Davies MJ. Type 2 diabetes. *The lancet*. 2017;389(10085):2239-51. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30058-2
۴. Khunti K, Zaccardi F, Amod A, Aroda VR, Aschner P, Colagiuri S, et al. *Glycaemic control is still central in the hierarchy of priorities in type 2 diabetes management*. *Diabetologia*. 2025;68(1):17-28. doi: 10.1007/s00125-024-06254-w.
۵. Schellenberg ES, Dryden DM, Vandermeer B, Ha C, Korownyk C. *Lifestyle interventions for patients with and at risk for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis*. *Annals of internal medicine*. 2013;159(8):543-51. DOI: 10.7326/0003-4819-159-8-201310150-00007
۶. Kim J, Oh C-M, Kim H. *The interplay of adipokines and pancreatic beta cells in metabolic regulation and diabetes*. *Biomedicines*. 2023;11(9):2589. DOI: 10.3390/biomedicines11092589
۷. Rao RR, Long JZ, White JP, Svensson KJ, Lou J, Lokurkar I, et al. *Meteorin-like is a hormone that regulates immune-adipose interactions to increase beige fat thermogenesis*. *Cell*. 2014;157(6):1279-91. doi: 10.1016/j.cell.2014.03.065.
۸. Cavli C, Önalın E, Yakar B, Dönder E, Buran İ, Önalın E. *Low serum levels of meteorin-like/subfatin is related to obesity and insulin resistance*. *Family Practice and Palliative Care*. 2022;7(5):137-41. doi: 10.22391/fppc.1130758
۹. El-Ashmawy HM, Selim FO, Hosny TA, Almassry HN. *Association of low serum Meteorin like (Metrl) concentrations with worsening of glucose tolerance, impaired endothelial function and atherosclerosis*. *Diabetes research and clinical practice*. 2019;150:57-63. doi: 10.1016/j.diabres.2019.02.026
۱۰. Farhan LO, Salman IN. *A review on the role of novel adipokine Isthmin-1 and Subfatin in human type 2 diabetes mellitus*. *University of Thi-Qar Journal of Science*. 2023;10(2):181-6. 10.1016/j.diabres.2019.02.026
۱۱. Chung HS, Hwang SY, Choi JH, Lee HJ, Kim NH, Yoo HJ, et al. *Implications of circulating Meteorin-like (Metrl) level in human subjects with type 2 diabetes*. *Diabetes research and clinical practice*. 2018;136:100-7. DOI: 10.1016/j.diabres.2017.11.031
۱۲. Lee JH, Kang YE, Kim JM, Choung S, Joung KH, Kim HJ, et al. *Serum Meteorin-like protein levels decreased in patients newly diagnosed with type 2 diabetes*. *Diabetes research and clinical practice*. 2018;135:7-10. DOI: 10.1016/j.diabres.2017.10.005
۱۳. Ferns GA, Fekri K, Shahini Shams Abadi M, Banitalebi Dehkordi M, Arjmand M-H. *A meta-analysis of the relationship between serums metrl-like protein/subfatin and risk of type 2 diabetes mellitus and coronary artery disease*. *Archives of Physiology and Biochemistry*. 2023;129(5):1084-90. DOI: 10.1080/13813455.2021.1899239
۱۴. Chang Y, Ho K, Lu S, Huang C, Shiau M. *Regulation of glucose/lipid metabolism and insulin sensitivity by interleukin-4*. *International journal of obesity*. 2012;36(7):993-8. DOI: 10.1038/ijo.2011.168
۱۵. Shih Y-L, Ho K-T, Tsao C-H, Chang Y-H, Shiau M-Y, Huang C-N, et al. *Role of cytokines in metabolism and type 2 diabetes mellitus*. *Int J Biomed Lab Sci*. 2013;2(1):1-6. <https://www.ijbls.org/images/stories/2013510103538.pdf>
۱۶. Umpierre D, Ribeiro P, Schaan B, Ribeiro J. *Volume of supervised exercise training impacts glycaemic control in patients with type 2 diabetes: a systematic review with meta-regression analysis*. *Diabetologia*. 2013;56:242-51. DOI: 10.1007/s00125-012-2774-z
۱۷. Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK, Leitao CB, Zucatti AT, Azevedo MJ, et al. *Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis*. *Jama*. 2011;305(17):1790-9. DOI: 10.1001/jama.2011.576
۱۸. Al-Rawaf HA, Gabr SA, Iqbal A, Alghadir AH. *High-Intensity interval training improves glycemic control, cellular apoptosis, and oxidative stress of type 2 diabetic patients*. *Medicina*. 2023;59(7):1320. DOI: 10.3390/medicina59071320
۱۹. Yin M, Li H, Bai M, Liu H, Chen Z, Deng J, et al. *Is low-volume high-intensity interval training a time-efficient strategy to improve cardiometabolic health and body composition? A meta-analysis*. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2023;49(3):273-92. DOI: 10.1139/apnm-2023-0329
۲۰. Songsorn P, Brick N, Fitzpatrick B, Fitzpatrick S, McDermott G, McClean C, et al. *Affective and perceptual responses during reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT)*. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2020;18(6):717-32. DOI: 10.1080/1612197X.2019.1593217
۲۱. Reljic D, Lampe D, Wolf F, Zopf Y, Herrmann HJ, Fischer J. *Prevalence and predictors of dropout from high-intensity interval training in sedentary individuals: A meta-analysis*. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2019;29(9):1288-304. DOI: 10.1111/sms.13452
۲۲. Sabag A, Little JP, Johnson NA. *Low-volume high-intensity interval training for cardiometabolic health*. *The Journal of physiology*. 2022;600(5):1013-26. DOI: 10.1113/JP281210

- .۲۳ Alvarez C, Ramirez-Campillo R, Martinez-Salazar C, Mancilla R, Flores-Opazo M, Cano-Montoya J, et al. *Low-volume high-intensity interval training as a therapy for type 2 diabetes*. International journal of sports medicine. 2016;37(09):723-9. DOI: 10.1055/s-0042-104935
- .۲۴ Gallo-Villegas J, Restrepo D, Pérez L, Castro-Valencia LA, Narvaez-Sanchez R, Osorio J, et al. *Safety of high-intensity, low-volume interval training or continuous aerobic training in adults with metabolic syndrome*. Journal of Patient Safety. 2022;18(4):295-301. DOI: 10.1097/PTS.0000000000000922
- .۲۵ Way KL, Sabag A, Sultana RN, Baker MK, Keating SE, Lanting S, et al. *The effect of low-volume high-intensity interval training on cardiovascular health outcomes in type 2 diabetes: A randomised controlled trial*. International journal of cardiology. 2020;320:148-54. DOI: 10.1016/j.ijcard.2020.06.019
- .۲۶ Ahmadzadeh S, Gholami M, Soheili S, Ghazalian F. *The effect of eight weeks aerobic training and omega3 ingestion on the levels of adipon and insulin resistance in overweight and obese women*. Women's Health Bulletin. 2021;8(3):134-41. doi: 10.30476/whb.2021.89493.1096
- .۲۷ Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. *Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes*. Journal of applied physiology. 2011;111(6):1554-60. DOI: 10.1152/japplphysiol.00921.2011
- .۲۸ Winding KM, Munch GW, Iepsen UW, Van Hall G, Pedersen BK, Mortensen SP. *The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes*. Diabetes, Obesity and Metabolism. 2018;20(5):1131-9. DOI: 10.1111/dom.13198
- .۲۹ Marcotte-Chénard A, Tremblay D, Mony M-M, Boulay P, Brochu M, Morais JA, et al. *Acute and chronic effects of low-volume high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on glycemic control and body composition in older women with type 2 diabetes*. Obesity. 2021;1(2):72-87. doi: 10.26355/eurrev_202204_28598.
- .۳۰ Akbulut T, Cinar V, Ugur K, Yardim M, Karagoz Z, Aydin S. *Effect of regular exercise on the levels of subfatin and asprosin: a trial with different types of exercise*. European Review for Medical & Pharmacological Sciences. 2022; 26(8):2683-2691. doi: 10.26355/eurrev_202204_28598.
- .۳۱ Hopps E, Canino B, Caimi G. *Effects of exercise on inflammation markers in type 2 diabetic subjects*. Acta diabetologica. 2011;48(3):183-9. DOI: 10.1007/s00592-011-0278-9
- .۳۲ Saeidi A, Tayebi SM, Khosravi A, Malekian F, Khodamoradi A, Sellami M, et al. *Effects of exercise training on type 2-diabetes: the role of Meteorin-like protein*. Health promotion perspectives. 2019;9(2):89. doi: 10.15171/hpp.2019.12
- .۳۳ Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, et al. *Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement*. Diabetes care. 2010;33(12):e147-e67. DOI: 10.1016/j.jesf.2023.08.003
- .۳۴ Bengin E, Kırtepe A, Çınar V, Akbulut T, Russo L, Aydemir İ, et al. *Leptin, ghrelin, irisin, asprosin and subfatin changes in obese women: Effect of exercise and different nutrition types*. Medicina. 2024;60(7):1118. DOI: 10.1016/j.jesf.2023.08.003
- .۳۵ Ahmad AM, Mahmoud AM, Serry ZH, Mohamed MM, Abd Elghaffar HA. *Effects of low-versus high-volume high-intensity interval training on glycemic control and quality of life in obese women with type 2 diabetes. A randomized controlled trial*. Journal of Exercise Science & Fitness. 2023;21(4):395-404. DOI: 10.1016/j.jesf.2023.08.003
- .۳۶ Alizadeh H, Safarzade A. *Effects of circuit resistance training on serum myokine METRNL, cytokines, insulin resistance, body composition, and lipid profile in overweight participants: A 6-week intervention study*. 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4945904/v1
- .۳۷ Dezhkam N, Rezaeiyan N. *Effect of six weeks of aerobic training on meteorin like factor response and insulin resistance index in overweight and obese young women*. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2021;8(1):28-35. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4945904/v1
- .۳۸ Bakhshi Z, Nayeibifar S, Salehikia A, Nakhaei H. *Effect of 8 weeks of continuous running on serum levels of Meteorine like protein and Interleukin-6 in male rats with syndrome metabolic*. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2021;9(19):78-89. doi: 10.22077/jpsbs.2020.3422.1560
- .۳۹ Lee JO, Byun WS, Kang MJ, Han JA, Moon J, Shin MJ, et al. *The myokine meteorin-like (metrnl) improves glucose tolerance in both skeletal muscle cells and mice by targeting AMPKα2*. The FEBS journal. 2020;287(10):2087-104. DOI: 10.1111/febs.15301
- .۴۰ Li Z-Y, Song J, Zheng S-L, Fan M-B, Guan Y-F, Qu Y, et al. *Adipocyte Metrnl antagonizes insulin resistance through PPARγ signaling*. Diabetes. 2015;64(12):4011-22. DOI: 10.2337/db15-0274
- .۴۱ Tayebi SM, Golmohammadi M, Eslami R, Shakiba N, Costa PB. *The effects of eight weeks of circuit resistance training on serum METRNL levels and insulin resistance in individuals with type 2 diabetes*. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2023;22(2):1151-8. DOI: 10.1007/s40200-023-01225-1
- .۴۲ Zabetian H, Sahraei R, Hakimelahi H, Yusefi A, Sanie MS, Erfanian S, et al. *Effect of Eight Week Endurance Training on Serum Levels of Interleukin-2 and Interleukin-4 in Sedentary Men*. Journal of Novel Applied Sciences. 2016;5(5):176-81. DOI: 10.1111/febs.15301
- .۴۳ Conroy SM, Courneya KS, Brenner DR, Shaw E, O'Reilly R, Yasui Y, et al. *Impact of aerobic exercise on levels of IL-4 and IL-10: results from two randomized intervention trials*. Cancer medicine. 2016;5(9):2385-97. DOI: 10.1002/cam4.836

- .٤٤ Boyd A, Yang CT, Estell K, Ms CT, Gerald LB, Dransfield M, et al. *Feasibility of exercising adults with asthma: a randomized pilot study*. Allergy, Asthma & Clinical Immunology. 2012;8(1): 13. doi: 10.1186/1710-1492-8-13.
- .٤٥ Mallardo M, Daniele A, Musumeci G, Nigro E. *A narrative review on adipose tissue and overtraining: shedding light on the interplay among adipokines, exercise and overtraining*. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(7):4089. DOI: 10.1002/cam4.836
- .٤٦ Pournemati P. *The effect of 12 Weeks of interval and continuous training on serum levels of interleukin-17 and interleukin-10 in postmenopausal breast cancer survivors: a clinical trial*. 2021. doi: 10.30699/ijbd.14.2.4
- .٤٧ Safari M, Molanouri Shamsi M, Agha-Alinejad H, Sinapour F. *The effect of 4 weeks of high intensity interval training with blood flow restriction on cardiovascular fitness and serum levels of IL-6 and IL-17 inflammatory cytokines in active young men*. Journal of Sport Biosciences. 2020;12(2):235-47. doi: 10.22059/jsb.2020.294170.1373
- .٤٨ Doumit R, Long J ,Kazandjian C, Gharibeh N, Karam L, Song H, et al. *Effects of recording food intake using cell phone camera pictures on energy intake and food choice*. Worldviews on Evidence-Based Nursing. 2016;13(3):216-23. doi: DOI: 10.1111/wvn.12123
- .٤٩ Zepeda L, Deal D. *Think before you eat: photographic food diaries as intervention tools to change dietary decision making and attitudes*. International Journal of Consumer Studies. 2008;32(6):692-8. DOI: 10.1111/j.1470-6431.2008.00725.x