Journal of medical & pharmaceutical Sciences (JMPS) • Vol 10, Issue 1 (2026) • P: 54 – 42
https://journals.ajsrp.com/index.php/jmps
ISSN: 2522-333X (Online) • ISSN: 2522-333X (Print)

Comparative Assessment of Oxidative Stress Markers among Obese and Healthy Individuals in Syria

Mohammad Abdullatif Omar*[1], Dr. Ibrahim W. Hasani[2], Dr. Jomaa Omar Al-Omar[3]

[1] Faculty of Pharmacy | Idlib University | Syria

[2] Faculty of Pharmacy | Al-Andalus University | Syria

[3] Faculty of Veterinary Medicine | Idlib University | Syria

Received: 26/10/2025

Revised: 12/11/2025

Accepted: 10/12/2025

Published: 15/03/2026

* Corresponding author: mohammad_abdullatif_omar@idlib.edu.sy

Citation: Omar, M. A., Hasani, I. W., & Al-Omar, J. O. (2026). Comparative Assessment of Oxidative Stress Markers among Obese and Healthy Individuals in Syria. *Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences, 10*(1), 42 – 54. https://doi.org/10.26389/AJSRP.Y281025

2026 © AISRP • Arab Institute for Sciences & Research Publishing (AISRP), United States, all rights reserved.

• **Open Access**

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: Oxidative stress is one of the most important biological mechanisms associated with the development of obesity and its metabolic disorders, as it reflects an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and the body's antioxidant defense capacity. This study aimed to evaluate the redox balance in obese individuals compared with healthy subjects by measuring total antioxidant status (TAS), total oxidant status (TOS), and calculating the oxidative stress index (OSI), in addition to investigating the effect of gender on these parameters. A total of 76 participants were divided into two groups: obese (BMI > 30 kg/m²) and healthy controls (BMI ≤ 24.5 kg/m²). TAS and TOS levels were measured according to the methods described by Erel (2004, 2005), and OSI was calculated as (TOS / TAS) × 100. Statistical analyses were performed using the Mann–Whitney U and Spearman correlation tests, with significance set at $p \leq 0.05$.

The results showed a significant increase in TOS and OSI among obese participants compared with healthy individuals ($p \leq 0.05$), whereas TAS values were significantly higher in healthy subjects ($p \leq 0.05$). In addition, TAS levels were higher in males compared with females within the obese group ($p \leq 0.05$), with no significant gender differences in TOS or OSI. Moreover, no significant correlations were found between BMI and any of the oxidative markers (TAS, TOS, OSI).

These findings suggest that obesity is associated with increased oxidative stress and a reduced compensatory antioxidant capacity, and that hormonal differences—particularly testosterone—may contribute to enhanced antioxidant defenses in males.

Keywords: oxidative stress, obesity, total oxidant status (TOS), total antioxidant status (TAS), oxidative stress index (OSI).

تقييم مقارن لمؤشرات الإجهاد التأكسدي بين البدناء والأصحاء في سورية

محمد عبد اللطيف عمر*[1]، الدكتور/ إبراهيم وليد الحساني[2]، الدكتور/ جمعة عمر العمر[3]

[1] كلية الصيدلة | جامعة ادلب | سوريا

[2] كلية الصيدلة | جامعة الأندلس | سوريا

[3] كلية الطب البيطري | جامعة ادلب | سوريا

المستخلص: يُعدّ الإجهاد التأكسدي من أهم الآليات الحيوية المرتبطة بتطور البدانة واضطراباتها الاستقلابية، إذ يعكس الخلل بين إنتاج الأنواع التفاعلية من الأوكسجين (ROS) وقدرة الجسم المضادة للأكسدة. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم حالة التوازن التأكسدي لدى البدناء مقارنةً بالأصحاء من خلال قياس السعة الكلية المضادة للأكسدة (TAS) والحالة الكلية للأكسدة (TOS) وحساب مؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI)، مع دراسة تأثير الجنس في هذه المؤشرات.

شملت الدراسة (76) مشاركاً قُسموا إلى مجموعتين: بدناء (BMI > 30 kg/m²) وأصحاء (BMI ≤ 24.5 kg/m²) تم قياس TAS وTOS وفق طرائق Erel (2004, 2005)، وحُسب OSI بقسمة TOS على TAS مضروباً في 100. استُخدمت اختبارات Mann-Whitny U وSpearman لتحليل الإحصائيات بمستوى دلالة ذات فروق معنوية ($p \leq 0.05$). أظهرت النتائج ارتفاعاً معنوياً في TOS وOSI لدى البدناء مقارنة بالأصحاء ($p \leq 0.05$)، في حين كانت قيم TAS أعلى معنوياً لدى الأصحاء ($p \leq 0.05$)، كما كانت قيم TAS أعلى لدى الذكور مقارنةً بالإناث ضمن مجموعة البدناء ($p \leq 0.05$)، دون فروق معنوية في TOS وOSI بين الجنسين. كما لم تُسجّل علاقة ارتباط معنوية بين BMI وكلٍّ من TOS وTAS وOSI.

تُشير النتائج إلى أنّ البدانة ترتبط بارتفاع مؤشرات الإجهاد التأكسدي وانخفاض القدرة التعويضية المضادة للأكسدة، وأنّ الفروق الهرمونية، وخصوصًا التستوستيرون، قد تسهم في تعزيز الدفاعات التأكسدية لدى الذكور.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد التأكسدي، البدانة، الحالة الكلية للأكسدة (TOS)، السعة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS)، مشعر الإجهاد التأكسدي (OSI).

1- المقدمة (Introduction):

تعرف منظمة الصحة العالمية البدانة بأنها تراكم مفرط للدهون في الجسم يعرض الصحة للخطر (World Health Organization,2025)، ويستخدم مؤشر كتلة الجسم BMI كوسيلة معيارية لتشخيص البدانة والوزن الزائد حيث يحسب بقسمة الوزن بالكغ على مربع الطول بالمتر (كغ/م^2):

جدول (1): تصنيف وزن الشخص تبعاً لمؤشر كتلة الجسم (Centers for Disease Control and Prevention, 2020).

التصنيف	مؤشر كتلة الجسم كغ/م^2
وزن طبيعي	24.9-18.5
زيادة وزن	29.9-25
بدانة درجة أولى	34.9-30
بدانة درجة ثانية	39.9-35
بدانة درجة ثالثة	≤40

في السنوات الأخيرة وصلت البدانة عالمياً إلى معدلات وبائية، حيث يموت ما لا يقل عن 2.8 مليون شخص سنوياً نتيجة لزيادة الوزن أو البدانة، وهذا يعود إلى دور البدانة في الإصابة بعدد كبير من الأمراض، كالسكري النمط 2 وأمراض القلب والأوعية، وبعد أن كانت مرتبطةً فيما سبق بالدول ذات الدخل المرتفع، أصبحت الآن منتشرةً في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط (WHO, 2021).

كان يعتقد في السابق أن النسيج الدهني هو مجرد نسيج ضام يختزن الدهون، لكن الدراسات الحديثة أثبتت أنّه عضو استقلابي وغدي نشيط، حيث له دور في التوازن الغذائي في الجسم وفي توليد الطاقة، ويفرز عدداً من السيتوكينات المؤثرة على التوازن الطاقي، الشهية، وحساسية الإنسولين (Bray et al., 2017) ، زيادة حجم الخلايا الشحمية (Adipocyte hypertrophy) نتيجة تراكم الشحوم الثلاثية فيها بسبب فرط الوارد الغذائي يرفع مستويات الأحماض الدسمة والغليسرول، وهذا التضخم يسبب نقص أكسجة النسيج الدهني نتيجة انخفاض التروية الدموية, حيث يسبب نقص الأكسجين إفراز مرتفع للسيتوكينات والأديبوكينات المُحفِّزة للالتهابات (Trayhurn, 2013). وبسبب نقص الأكسجة تقل فعالية أنزيمات Prolyl Hydroxylase بسبب غياب O_2 (الركيزة الأساسية للهيدروكسلة) ليصبح العامل HIF-1α مستقراً ولا يتحلل, لينتقل إلى النواة ويتحد مع HIF-1β فيشكل المعقد HIF-1 الذي يرتبط بعناصر خاصة في DNA تسمى Hypoxia Response Elements (HREs) وبالتي تنشط نسخ العديد من الجينات العوامل الالتهابية (Kietzmann & Mäkelä, 2021) وأهمها interleukin 6 الذي يفرز بكميات كبيرة من الخلايا المتضخمة (Sindhu et al., 2015)، وتلعب دورا مهماءفي زيادة التعبير الجيني عن أنزيمات NOX (NADPH oxidase) التي تحفز انتاج الجذر $O_2^{\bullet-}$ (Didion, 2017)، وكذلك يتم تنشيط TNF-α وهو أحد أهم السيتوكينات الالتهابية القوية التي لها دور في رفع الاجهاد التأكسدي من خلال تنشيط أنزيمات NOX و NOS التي تسبب ارتفاعاً مهماً في الجذور الحرة (DeVallance et al., 2019). وتثبط العوامل المضادة للأكسدة SOD وCatalase وGPx (Afonso et al., 2006). كما أن هذا العامل يسبب خللاً في مركبات نقل الالكترون في الميتوكوندريا وخاصة ComplexI وComplexIII مما يسبب تسرب الالكترونات إلى الأكسيجين مباشرة وتوليد الجذر $O_2^{\bullet-}$ (Kastl et al., 2014). كما ينشط المعقد HIF-1 أنزيمات NOX التي تحفز انتاج الجذر $O_2^{\bullet-}$ الذي يتحول إلى H2O2 أو يتفاعل مع NO (Furukawa et al., 2004)، وينشط المعقد أنزيمات NOS التي تصطنع NO الذي يتحد مع سوبر أكسيد $O_2^{\bullet-}$ ليعطي بيروكسي نتريت $ONOO^-$ شديد الأكسدة (Elizalde et al., 2000).

ظهر مصطلح الإجهاد التأكسدي (Oxidative Stress, OS) لأول مرة عام 1985 على يد Helmut Sies، الذي عرّفه بأنه اختلال التوازن بين العوامل المؤكسِدة ومضادات الأكسدة لمصلحة المؤكسِدات، بما يؤدي إلى حدوث الضرر الخلوي والشيخوخة المبكرة والمرض (Sies, 1985; Sánchez-Rodríguez et al., 2019). ولأغراض القياس الكمي، طوّر Erel سلسلة من الطرائق الآلية لتقدير هذا التوازن، فقد وصف عام 2004 طريقة قياس الحالة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS) باستخدام جذر الـABTS$^{+\bullet}$ المستقر (Erel, 2004)، ثم قدّم عام 2005 طريقة قياس الحالة التأكسدية الكلية (TOS) اعتمادًا على أكسدة الحديد الثنائي وارتباطه بصبغة Xylenol Orange (Erel, 2005). انطلاقًا من هاتين الطريقتين، جرى تحديد مؤشر الإجهاد التأكسدي (Oxidative Stress Index, OSI) كمؤشر حسابي يُعبّر عن التوازن بين الأكسدة ومضاداتها وفق المعادلة الآتية:

$$OSI = \frac{TOS}{TAS} \times 100$$

OSI: مؤشر الإجهاد التأكسدي ويُعبّر عنه بوحدات اعتبارية (AU)

TOS: الحالة المؤكسدة الكلية (µmol H_2O_2 Eq/L)

TAS: الحالة المضادة للأكسدة الكلية (µmol Trolox Eq/L)

حيث يشير ارتفاع OSI إلى زيادة في الإجهاد التأكسدي وانخفاضه إلى مدى التوزان بين المنظومة المضادّة للأكسدة والمنظومة المؤكسدة (Erel, 2005; Harma & Erel, 2003; Motor et al., 2014).

مشكلة البحث (Research Problem)

على الرغم من تزايد الأدلة التي تربط البدانة بارتفاع الإجهاد التأكسدي، إلا أن البيانات السريرية المحلية في سورية غائبة، ولا سيما فيما يتعلق بمؤشرات TAS وTOS وOSI لدى البالغين البدناء ومقارنتها بالأصحاء. كما يزداد الغموض حول دور الجنس (الذكور/الإناث) في تفسير هذه العلاقة. لذلك تتمحور مشكلة البحث في غياب بيانات محلية حديثة توضّح نمط التغير في مؤشرات الإجهاد التأكسدي بين البدناء والأصحاء في المجتمع السوري.

أهمية البحث (Research Significance)

تبرز أهمية هذا البحث في كونه أول دراسة محلية تقارن بين مؤشرات الإجهاد التأكسدي لدى البدناء والأصحاء باستخدام طرق Erel المعتمدة عالمياً. كما يكتسب البحث أهميته من كونه يساهم في فهم العلاقة بين البدانة والإجهاد التأكسدي، مما يساعد في توجيه البرامج الوقائية، وتحديد الحاجة لاختبارات مخبرية مبكرة تُقيّم الخطر الاستقلابي لدى البدناء. بالإضافة إلى أن تقييم تأثير الجنس على مشعرات الإجهاد التأكسدي يوفر أساساً علمياً لتفسير التباين الفيزيولوجي بين الذكور والإناث في الاستجابة للأكسدة.

مبررات البحث (Research Rationale):

رغم محدودية الدراسات العالمية التي بحثت في مؤشرات الإجهاد التأكسدي لدى البدناء، فإنّ غياب الدراسات المحلية تماما في سورية يشكّل فجوة معرفية حقيقية. كما أنّ تأثير الجنس على TAS وTOS وOSI غير موضّح في السياق المحلي. لذلك جاءت هذه الدراسة لتوفير بيانات مخبرية موثوقة عن الحالة التأكسدية لدى البدناء مقارنة بالأصحاء ضمن المجتمع السوري، وسدّ هذا النقص في الأدبيات البحثية.

أهداف البحث (Research Objectives)

- الهدف العام General Objective

تقييم مستويات TAS وTOS وOSI لدى الأفراد المصابون بالبدانة في شمال غرب سورية.

- الأهداف الفرعية Specific Objectives

1. مقارنة TAS بين البدناء والأصحاء.
2. مقارنة TOS بين البدناء والأصحاء
3. حساب مؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI) ومقارنته بين البدناء والأصحاء.
4. تقييم تأثير الجنس في قيم TAS وTOS وOSI ضمن مجموعة البدناء.
5. دراسة الترابط بين BMI وكل من TAS وTOS وOSI لدى مجموعة البدناء.

سؤال البحث (Research Question)

هل تختلف مؤشرات الإجهاد التأكسدي (TAS، TOS، OSI) بين الأفراد البدناء والأصحاء البالغين في سورية؟ وهل يلعب الجنس دوراً في هذا الاختلاف ضمن مجموعة البدناء؟

الفرضية البحثية (Research Hypotheses)

- يفترض أن مجموعة البدناء يُظهرون انخفاضا في TAS وارتفاعاً في TOS وOSI مقارنة بالأصحاء.
- يفترض وجود اختلاف بين الذكور والإناث في مؤشرات الإجهاد التأكسدي ضمن مجموعة البدناء.
- يفترض عدم وجود علاقة معنوية بين BMI ومؤشرات الإجهاد التأكسدي ضمن مجموعة البدناء.

2- الطرائق والمواد (Methods and Materials):

تصميم الدراسة وعينة البحث (Study Design and Population)

أُجريت هذه الدراسة بمخطط مقطعي تحليل (Analytical Cross-sectional Study) وشملت مجتمعاً مستهدفاً مكوناً من البالغين المقيمين في شمال غرب سورية ضمن الفئة العمرية (40-50 سنة).

نوع العينة:

تم اعتماد عينة قصدية Purposive Sampling من المراجعين البالغين الذين تنطبق عليهم معايير الدراسة.

حجم العينة:

تم تحديد حجم العينة عند 76 مشاركاً (38 مصاباً بالبدانة و38 من الأصحاء) باعتباره كافياً من الناحية الإحصائية للكشف عن فروق محتملة بين المجموعتين عند مستوى دلالة 0.05.

خصائص المجموعات:

مجموعة البدناء: 38 مريضاً مصاباً بالبدانة من الدرجة الثانية (BMI = 35–39.9 kg/m²)، تراوحت أعمارهم بين 40–50 سنة.

مجموعة الأصحاء: 38 فرداً سليماً ظاهرياً بمعدل BMI = 18.5–24.9 kg/m² وتم مطابقة أعمارهم مع أعمار مجموعة البدانة (40-50 سنة)

أظهر توزيع الجنس بين مجموعتي الدراسة درجة جيدة من التقارب؛ إذ ضمّت مجموعة البدانة 20 ذكراً (52.6%) و18 أنثى (47.4%)، بينما شملت مجموعة الأصحاء 21 ذكراً (55.3%) و17 أنثى (44.7%). ورغم وجود فروق عددية بسيطة بين المجموعتين، فإنها تبقى ضمن الحدود المقبولة في الدراسات المقطعية، ولا يُتوقع أن تترك تأثيراً جوهرياً على التحليل الإحصائي، خاصة مع تثبيت الفئة العمرية بين المجموعتين (40–50 سنة) واعتماد الاختبارات غير البارامترية المناسبة للعينات. ويسهم هذا الضبط الديموغرافي في الحد من تأثير الجنس كعامل مربك محتمل عند تفسير النتائج.

كما وجُمعت العينات من متطوعين في شمال غرب سوريا بعد الحصول على موافقة خطية مستنيرة، مع استبعاد المدخنين والأشخاص المصابين بأمراض مزمنة أو ممن لا يتناولون مضادات أكسدة دوائية.

متغيرات البحث:

- المتغير المستقل (Independent Variable):

حالة عينة الدراسة (بدناء/أصحاء) إضافة إلى عامل الجنس (ذكر/أنثى) ومؤشر كتلة الجسم BMI.

- المتغيرات التابعة (Dependent Variables):

1. السعة الكلية المضادة للأكسدة (TAS)
2. الحالة التأكسدية الكلية (TOS)
3. مؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI)

جمع العينات وتحضير المصل (Sample Collection and Serum Preparation)

تم سحب 3 مل من الدم الوريدي من كل مشارك في أنابيب خالية من مضادات التخثر، تُركت لتتخثر لمدة 30 دقيقة، ثم طُرِدت عند 3000 دورة/د لمدة 10 دقائق. جُمعت عينات المصل، وحُفظت في أنابيب معقمة عند درجة 80- Co.حتى إجراء التحاليل.

الأجهزة والمواد (Instruments and Reagents)

استخدم في التحاليل قارئ الامتصاص Chromate® Microplate Reader (Awareness Technology Inc., USA)

وماصات دقيقة من نوع Eppendorf، وأنابيب Eppendorf معقمة.

تم استخدام كواشف معتمدة من شركة Reed Biotech Ltd, Wuhan, China لكل من (T-AOC Assay Kit, RBC0031) و(TOS Assay Kit, RBC0032).

القياسات الحيوية والكيميائية (Biochemical Assays):

1. السعة المضادة للأكسدة الكلية (Total Antioxidant Status) TAS:

تم قياس الحالة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS, Total Antioxidant Status) لعينات المصل باستخدام مجموعة اختبار TAS (Reed Biotech, Cat. No. RBC0031)، وتعتمد في مبدئها على الطريقة التي وصفها الباحث Erel (2004).

تقوم هذه الطريقة على مبدأ اختزال الجذر الحر $ABTS^{+}$• ذي اللون الأزرق المخضر إلى الشكل عديم اللون بفعل المركبات المضادة للأكسدة الموجودة في العينة، وكلما ازداد تركيز مضادات الأكسدة الموجودة في المصل زاد مقدار الاختزال وبالتالي نقص الامتصاص اللوني الذي يقاس عند طول موجي 414 nm, يعبر عن النتائج بوحدة (mmol Trolox equivalent/L) (Erel, 2004).

2. الحالة التأكسدية الكلية (Total Oxidant Status) TOS:

تم قياس الحالة التأكسدية الكليّة (TOS, Total Oxidant Status) في عينات المصل باستخدام مجموعة اختبار TOS (Reed Biotech, Cat. No. RBC0032)، وتعتمد في مبدئها على الطريقة التي وصفها الباحث Erel (2005).

تعتمد هذه الطريقة على قدرة المواد المؤكسِدة في العينة على أكسدة أيونات الحديد الثنائية (Fe^{2+}) إلى الحديد الثلاثي (Fe^{3+}) في وسط حمضي، حيث يرتبط الحديد الناتج مع الصبغة Xylenol Orange لتكوين معقّد لوني بنفسجي–أزرق، وتتناسب شدة اللون طردياً مع تركيز المواد المؤكسِدة في العينة، حيث يتم قياس الامتصاص عند طول موجي يقارب 590 nm، ويعبر عن النتائج بوحدة (µmol H_2O_2 equivalent/L) (Erel, 2005).

3. مؤشر الاجهاد التأكسدي (Oxidative Stress Index) OSI

تم قياسه بنسبة تراكيز المواد المؤكسدة إلى تراكيز المواد المضادة للأكسدة وضرب الناتج بـ 100.

التحليل الإحصائي (Statistical Analysis)

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) الإصدار 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

لم تتبع بيانات المؤشرات (TAS، TOS، OSI) التوزيع الطبيعي وفق اختبار Shapiro–Wilk، مما يجعل استخدام الاختبارات اللامعلمية هو الخيار الأنسب للمقارنة بين مجموعتين مستقلتين.

تم استخدام اختبار لا معلمي (Mann Whitney) للمقارنة بين المجموعتين المدروستين ودراسة احتمالية وجود فروقات معنوية بين المؤشرات (TAS, TOS, OSI)، كما تم دراسة إمكانية وجود علاقة ارتباط بين مستويات المؤشرات السابقة ومؤشر كتلة الجسم BMI لدى المصابين بالبدانة باستخدام معامل الارتباط Spearman Correlation لكونه اختبار ارتباط لامعلمي يناسب البيانات التي لا تحقق شرط التوزيع الطبيعي، ويقيس قوة واتجاه العلاقة بين مؤشرات الإجهاد التأكسدي وBMI.

اعتُبر الفرق ذا دلالة إحصائية عندما كانت قيمة $p \leq 0.05$.

3- النتائج (Results)

أظهر التحليل الإحصائي الوصفي لمؤشرات الإجهاد التأكسدي عند مجموعة البدناء ما يلي:

بلغ متوسط الحالة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS) 0.866 ± 0.044 mmol Trolox Eq/L، ضمن مجال ثقة 95% تراوح بين 0.776 – 0.956، وتراوحت القيم بين 0.21 و1.70.

أما متوسط الحالة التأكسدية الكلية (TOS) فبلغ 13.83 ± 0.89 µmol H_2O_2 Eq/L، مع مجال ثقة 95% تراوح بين 12.03 – 15.63، وتراوحت القيم بين 8.21 و32.38.

كما بلغ متوسط مؤشر الإجهاد التأكسدي OSI 1.95 ± 0.38 وحدة اعتبارية (AU)، ضمن مجال تراوح بين 0.85 و15.72.

وتشير هذه النتائج إلى انخفاض ملحوظ في السعة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS) مقابل ارتفاع كل من TOS وOSI، مما يدل على وجود حالة من اختلال التوازن التأكسدي لصالح الأكسدة لدى البدناء.

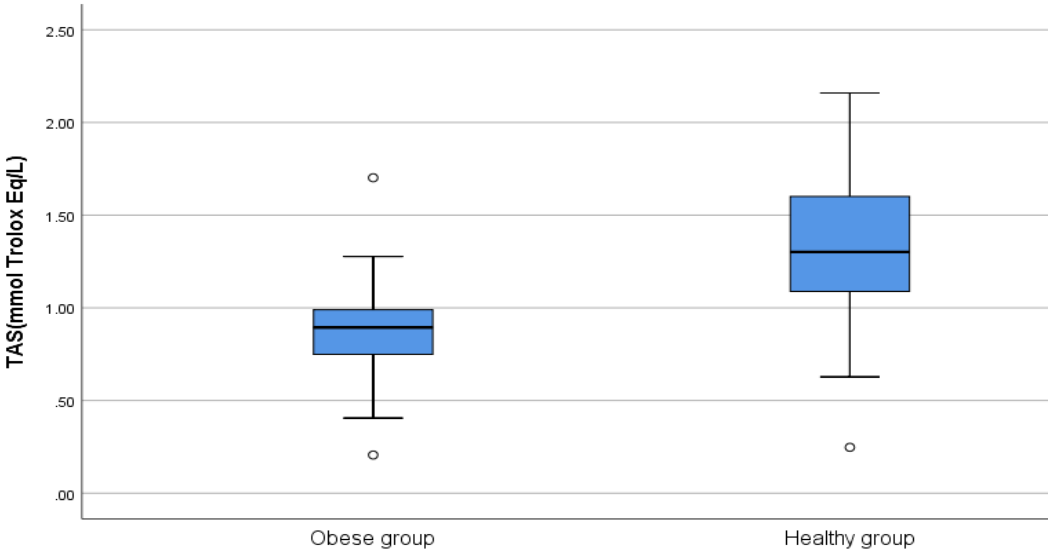
وفي المقابل أظهر التحليل الإحصائي الوصفي لمجموعة الأصحاء أن متوسط الحالة الكلية لمضادات الأكسدة (TAS) بلغ 1.286 ± 0.064 mmol Trolox Eq/L، ضمن مجال ثقة 95% تراوح بين 1.156 – 1.416، وتراوحت القيم بين 0.25 و2.16.

أما متوسط الحالة التأكسدية الكلية (TOS) فبلغ 9.36 ± 3.54 µmol H_2O_2 Eq/L، مع مجال ثقة 95% تراوح بين 8.20 – 10.53، وتراوحت القيم بين 2.58 و17.38.

في حين بلغ متوسط مؤشر الإجهاد التأكسدي OSI: 0.677 ± 0.46 AU وتراوحت القيم بين 0.19 و3.32.

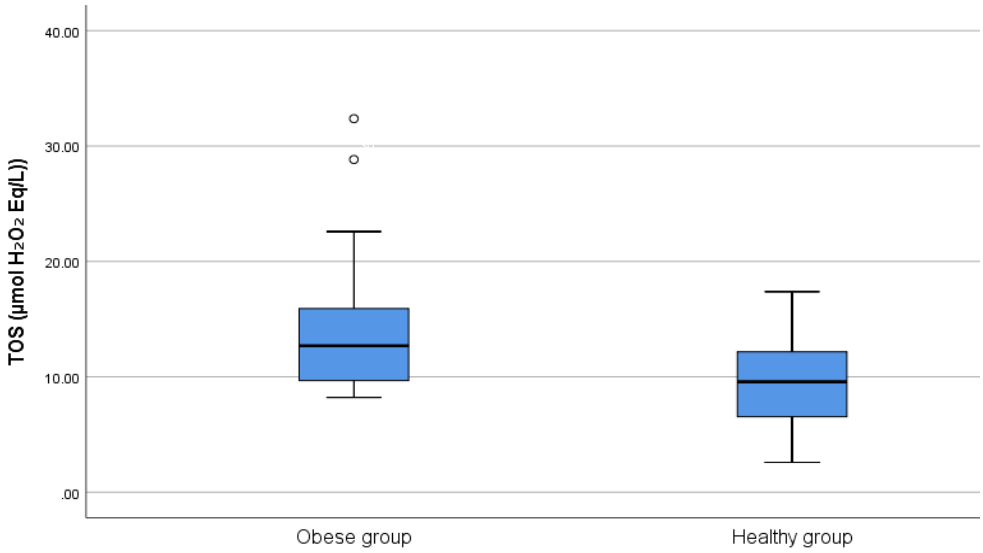
وتُشير هذه النتائج إلى أن الأفراد الأصحاء يتمتعون بانخفاض واضح في مستويات الإجهاد التأكسدي، مع تفوقٍ واضح في قدرة المنظومة المضادة للأكسدة (TAS) وانخفاض الحمل التأكسدي (TOS) ومؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI)، مما يعكس توازناً تأكسديًا طبيعياً وكفاءة عالية للجهاز الدفاعي المضاد للأكسدة.

أظهر اختبار Mann–Whitney U وجود فرق معنوي بين الأصحاء والبدناء في قيم TAS ($p \leq 0.05$)، حيث كانت القيم أعلى بوضوح في مجموعة الأصحاء مقارنةً بمجموعة البدناء، مما يشير إلى انخفاض القدرة المضادة للأكسدة لدى المصابين بالبدانة. وتشير هذه النتيجة إلى أن البدانة ترتبط بانخفاضٍ ملحوظ في القدرة المضادة للأكسدة مقارنةً بالحالة الصحية الطبيعية.



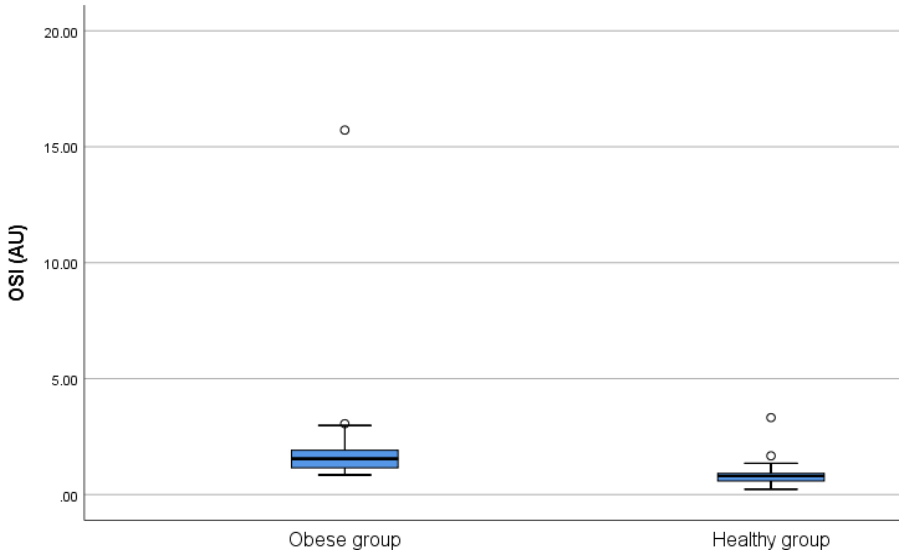
الشكل (1): مخطط صندوق لمقارنة TAS؛ يظهر الوسيط (Median) داخل الصندوق، وتمثل الأطراف (Whiskers) مجال القيم، بينما تشير النقاط المتباعدة (Outliers) إلى القيم المتطرفة، مع انخفاض واضح في مجموعة البدناء مقارنة بالأصحاء

كما أظهرت نتائج اختبار Mann–Whitney U وجود ارتفاع معنوي واضح في مستويات المؤكسدات الكلي (TOS) لدى مجموعة البدناء مقارنةً بالأصحاء ($p \leq 0.05$). وتشير هذه النتيجة إلى أن البدانة ترافقها زيادة ملحوظة في إنتاج الأنواع التفاعلية من الأوكسجين، مما يعكس اختلال التوازن التأكسدي لصالح العوامل المؤكسدة في الجسم.



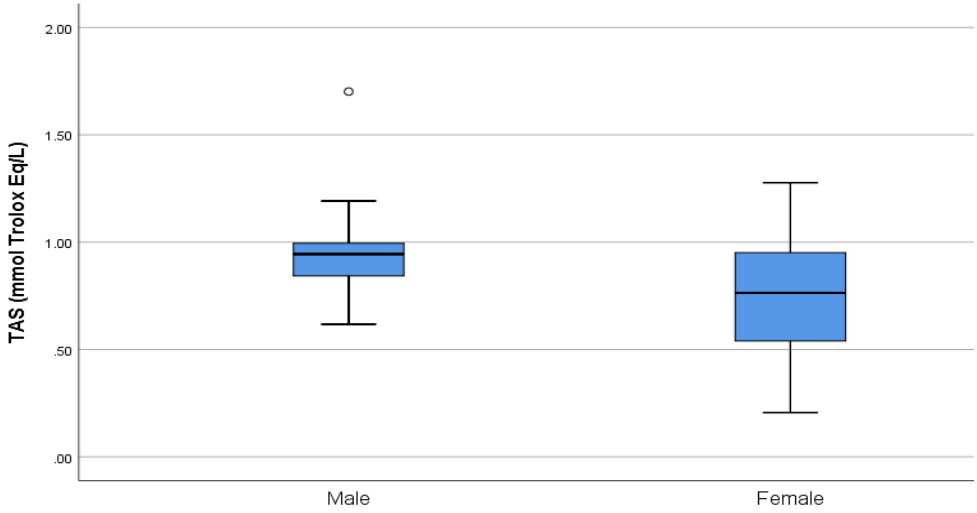
الشكل (2): يوضّح مقارنة مستويات TOS بين البدناء والأصحاء. ويُلاحظ ارتفاع القيم المركزية في مجموعة البدناء مقارنة بالأصحاء، مما يعكس زيادة العبء التأكسدي لديهم.

وأظهر اختبار Mann–Whitney U وجود فرق إحصائي معنوي عالي الدلالة في مستوى OSI بين مجموعة البدناء ومجموعة الأصحاء ($p \leq 0.05$). وقد تبين أن قيم OSI كانت مرتفعة بشكل واضح لدى الأفراد البدناء مقارنةً بالأصحاء، مما يعكس زيادة ملحوظة في درجة الإجهاد التأكسدي وتراجع التوازن بين العوامل المؤكسدة والمضادة للأكسدة في حالة البدانة. وتشير هذه النتيجة إلى أن البدانة تسهم في تعزيز الإجهاد التأكسدي كنتيجة لتراكم الشوارد الحرة وضعف القدرة التعويضية الدفاعية في الجسم.



الشكل (3): يبين مخطط الصندوق ارتفاع مؤشر OSI في مجموعة البدناء مقارنة بالأصحاء مما يشير إلى خلل أكبر في التوزان التأكسدي لديهم

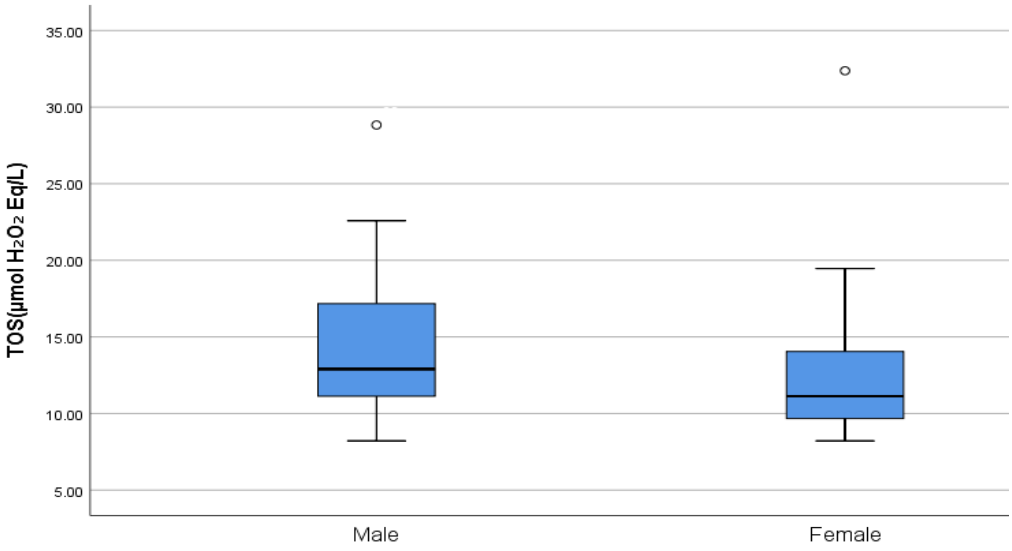
وفي المقابل، أظهر اختبار Mann–Whitney U وجود فرق معنوي في قيم TAS بين الجنسين ضمن مجموعة البدناء، حيث كانت القيم أعلى لدى الذكور مقارنةً بالإناث، وكانت ذات دلالة إحصائية ($p \leq 0.05$) تشير إلى تفوق الذكور في القدرة المضادة للأكسدة.



الشكل (4): مقارنة مستويات TAS بين الذكور والإناث في مجموعة البدناء، ويُلاحظ تفوّق الذكور بقيم أعلى نسبياً من الإناث، مما قد يشير إلى قدرة مضادة للأكسدة عند الذكور أفضل ضمن العينة المدروسة.

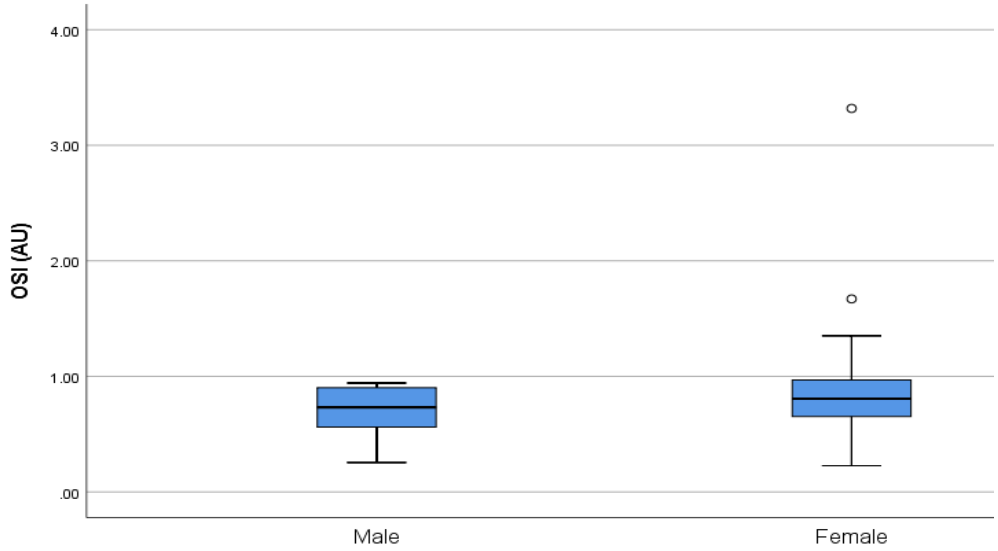
وتشير هذه النتيجة إلى أن الإناث البدينات أظهرن مستويات أقل من مضادات الأكسدة مقارنةً بالذكور البدناء، مما يعكس تأثيراً محتملًا للجنس في التباين التأكسدي المصاحب للبدانة.

وفيما يتعلق بمستويات المواد المؤكسدة وعلاقتها بجنس مريض البدانة، لم يُظهر ارتباط Mann-Whiteney U وجود أي علاقة ذات دلالة إحصائية ($p > 0.05$)، مما يشير إلى عدم وجود فروق واضحة في قيم TOS بين الذكور والإناث في مجموعة البدانة.



الشكل (5): مقارنة مستويات TOS بين الذكوروالإناث في مجموعة البدناء،
يُلاحظ تقارب القيم بين المجموعتين دون وجود فرق واضح.

كما لم تُظهر النتائج وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين الجنس ومؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI) لدى مجموعة البدناء وفق اختبار Mann-Whiteney U ($p>0.05$) مما يشير إلى أن قيم OSI لا تختلف بشكل واضح بين الذكور والإناث.



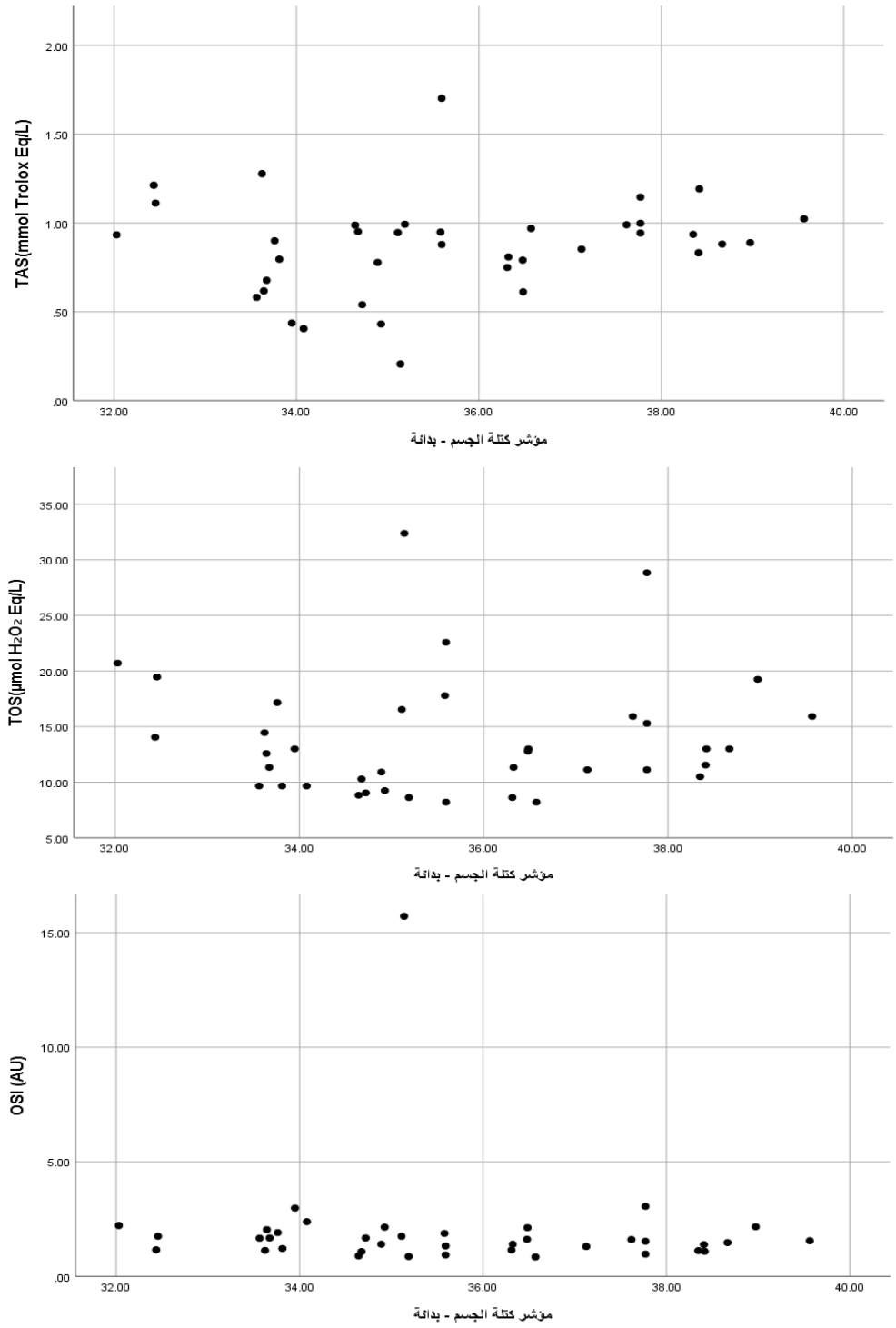
الشكل (6): مقارنة مستويات مؤشر الإجهاد التأكسدي (OSI) بين الذكوروالإناث في مجموعة البدناء،
ويُلاحظ تقارب القيم بين المجموعتين دون وجود فروق واضحة

وفي سياق متصل، تم تحليل العلاقة بين مؤشر كتلة الجسم (BMI) وكلٍّ من المؤشرات التأكسدية (TAS، TOS، OSI) باستخدام اختبار الارتباط اللامعلمي Spearman's rho ضمن مجموعة البدناء ($n = 38$).

جميع النتائج لم تصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية ($p > 0.05$)، مما يشير إلى عدم وجود ارتباط معنوي بين مستويات المؤشرات التأكسدية ودرجة البدانة لدى مجموعة الأفراد البدناء كما يبينه الجدول رقم (2).

الجدول (2): معاملات الارتباط بين مؤشركتلة الجسم (BMI) ومؤشرات الإجهاد التأكسدي (TAS وTOS وOSI) باستخدام اختبار Spearman

المتغيرات	عدد العينات (N)	معامل الارتباط (r)	قيمةp
BMI / TAS	38	0.188	0.258
BMI / TOS	38	0.058	0.730
BMI / OSI	38	-0.195	0.240



الشكل (7): مخططات التبعثرللعلاقة بين مؤشركتلة الجسم (BMI) وكلٍّ من TAS وTOS وOSI.

تُظهر الرسوم تشتت البيانات دون اتجاه واضح للعلاقة، مما يتوافق مع نتائج Spearman التي لم تُظهر ارتباطاً معنوياً ($p > 0.05$).

4- المناقشة (Discussion)

تتفق نتائج دراستنا مع ما توصل إليه Anaya-Morua و زملاؤه (2023)، الذين أجروا تحليلًا تلوياً شاملاً شمل 22 دراسة و3937 شخصاً، وبيّنوا أن متوسط القدرة الكلية لمضادات الأكسدة TAS ينخفض بشكل ملحوظ عند الأفراد المصابين بالبدانة مقارنةً بذوي الوزن الطبيعي بارتباط معنوي ($p \leq 0.05$) وقد رافق هذا الانخفاض ارتفاع واضح في TOS ومشعر الإجهاد التأكسدي OSI أيضاً بارتباط معنوي ($p \leq 0.05$) وأشار الباحثون إلى أن هذا التراجع في TAS يعكس حالة استنزاف لمضادات الأكسدة نتيجة الارتفاع المزمن في إنتاج الجذور الحرة

والالتهاب منخفض الدرجة المميز للبدانة (Anaya-Morua et al., 2023). وبذلك تؤكد نتائجنا أنّ البدانة ترتبط بانخفاض معنوي في TAS وبارتفاع واضح في TOS وOSI، وهو ما يدلّ على وجود اختلال في التوازن بين المنظومتين التأكسدية والمضادة للأكسدة لدى الأفراد البدناء.

كما تتفق هذه النتائج في الاتجاه العام مع ما توصلت إليه دراسة Szlachta وزملاؤه (2023) المنشورة في مجلة Antioxidants، والتي قيّمت الحالة التأكسدية لدى الأشخاص البدناء قبل وبعد برنامج لإنقاص الوزن. فقد أظهرت تلك الدراسة ارتفاعاً معنوياً في TOS وOSI وانخفاضاً معنوياً في TAS عند البدناء قبل الحمية ($p \leq 0.05$)، في حين تحسنت هذه المؤشرات بعد خفض الوزن، حيث ارتفعت قيم TAS وانخفضت TOS وOSI بشكل ملحوظ (Szlachta et al., 2023).

وعلى الرغم من اختلاف الدراستين في التصميم؛ إذ تُعد دراستنا مقطعية تقارن بين مجموعتين (بدناء وأصحاء) في فترة زمنية واحدة، في حين اعتمدت دراسة Szlachta على تصميم طولي لمتابعة التغير عبر مرحلة زمنية ممتدة بعد إجراء معين بهدف لتقليل الوزن لعينة الدراسة، ولكن الاتجاه النهائي في النتائج كان متطابقاً ويؤكد أن البدانة تمثل حالة من الإجهاد التأكسدي المزمن، وأن تحسين نمط الحياة أو تقليل الكتلة الدهنية يمكن أن يُعيد التوازن بين العوامل المؤكسدة ومضادات الأكسدة.

في المقابل، توصلت دراسة Choromańska وزملائها (2020) إلى نتائج مختلفة من حيث اتجاه التغير في TAS, إذ وجد الباحثون أن مرضى البدانة المفرطة أظهروا ارتفاعاً في TAS قبل الجراحة الباريطرية مقارنة بالأصحاء ($p \leq 0.05$)، أعقبه انخفاض تدريجي بعد فقدان الوزن. وقد فُسّر هذا الارتفاع بأنه استجابة تعويضية مؤقتة تحفّز خلالها المنظومة المضادة للأكسدة لمواجهة الإجهاد التأكسدي الزائد الناتج عن تراكم الشحوم. بينما تُظهر نتائجنا مرحلة لاحقة من البدانة المزمنة حيث تنهار الاستجابة التعويضية ويحدث استنفاذ لمضادات الأكسدة، فتكون قيم TAS منخفضة. كما تتفق هذ الدراسة مع نتائج دراستنا بما يخص ارتفاع TOS وOSI في حالة البدانة وتنخفض بعد التخلص من منها بارتباط معنوي ذو دلالة إحصائية ($p \leq 0.05$).

يمكن أن يُعزى هذا التباين أيضا إلى الاختلاف في التصميم المنهجي بين الدراستين؛ إذ إن دراستنا مقطعية تحليلية تصف الحالة التأكسدية في لحظة زمنية واحدة دون تدخل بينما دراسة Choromańska et al. (2020) كانت طولية تابعت المرضى قبل وبعد فقدان الوزن، مما مكّنها من رصد التغيرات الديناميكية في المؤشرات التأكسدية مع مرور الوقت (Choromańska et al., 2023). ورغم هذا الاختلاف، فإن كلا الدراستين تؤكدان أن البدانة ترافقها حالة من الإجهاد التأكسدي وأن فقدان الوزن يُحسّن التوازن بين المؤكسدات ومضادات الأكسدة.

تتفق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة Pilch et al. (2021)، التي قارنت بين بدناء (BMI > 35) ومتطوعين أصحاء ذوي وزن طبيعي، حيث وجد الباحثون أن نسبة الأكسدة إلى مضادات الأكسدة (OSI) كانت مرتفعة بوضوح عند البدناء مقارنة بالأصحاء ($p \leq 0.05$)، كما بيّنت الدراسة أن نشاط النظام المضاد للأكسدة لم يكن كافيًا لمعادلة الإجهاد التأكسدي، إذ لم تظهر فروق معنوية في TAS بين المجموعتين ($p > 0.05$)، وعدم ظهور فرق معنوي في TAS بين المجموعة البدينة والمجموعة السليمة، لا يعني بالضرورة غياب تأثير التأكسد في البدانة. فقد يكون TAS في مرحلة تكيُّفيّة أو ثابتة بحكم استجابة الجسم للتعويض المضاد في مضادات الأكسدة، أو أن قياسه في تلك اللحظة قد لا يكون كافياً للكشف عن الفرق. وهذا يتوافق مع ما أشار إليه بعض الباحثين بأن تغيرات المؤشرات المضادة للأكسدة قد تعتمد على مرحلة المرض أو الخسارة الوزن، بينما مؤشرات مثل TOS أو OSI قد تكون أكثر حساسية لتمييز الفروق (Pilch et al., 2021).

كما جاءت هذه نتائج دراستنا منسجمة مع ما توصّل إليه Söğüt et al. (2018) في دراستهم المقطعية التي قارنت أربع فئات من البالغين وفق مؤشر كتلة الجسم، حيث بيّنوا أن البدناء (Group 3, BMI 30–34.9) أظهروا انخفاضاً واضحاً في TAS مقارنةً بذوي الوزن الطبيعي (Group 1, BMI 18.5–24.9) بفرق دال إحصائياً ($p \leq 0.05$)، بينما ارتفع كلٌّ من TOS وOSI ارتفاعاً ملحوظاً ($p \leq 0.05$) في نفس المجموعة.

وأرجع الباحثون هذا الاضطراب التأكسدي إلى زيادة عملية فوق أكسدة الشحوم (lipid peroxidation) وتراكم نواتج الأكسدة في المصل، بالتوازي مع انخفاض فعالية الأنظمة الأنزيمية وغير الأنزيمية المضادة للأكسدة، وهو ما يتطابق مع ما لاحظناه في نتائجنا من ارتفاع مؤشر الإجهاد التأكسدي OSI وتراجع السعة المضادة للأكسدة لدى البدناء.

حيث تؤكد المقارنة بين كلا الدراستين أن البدانة تُعد حالة إجهاد تأكسدي مزمن تتجلى بوضوح في الارتفاع المتزامن لـ TOS و OSI مقابل انخفاض TAS، مما يدعم اعتماد هذه المؤشرات الثلاثة كمؤشرات حيوية دقيقة لتقييم التوازن التأكسدي في دراسات البدانة (Söğüt.,2018).

كما أظهرت نتائج دراستنا أن قيم TAS لدى مجموعة البدناء كانت أعلى لدى الذكور مقارنة بالإناث، في حين لم تُظهر TOS وOSI فروقًا معنوية بين الجنسين، مما يشير إلى احتفاظ الذكور بقدرة مضادّة أكسدة أعلى ضمن حالة البدانة، دون اختلاف واضح في الحمل التأكسدي الكلي.

تتباين هذه النتائج جزئيًا مع ما أوردته Sołtysik et al. (2022) في دراسة مقطعية على بالغين بعمر 60–65 سنة، حيث وُجد أن النساء أظهرن قيم TOS أعلى من الرجال ($p \leq 0.05$) بينما لم تختلف TAS أو OSI بين الجنسين. وقد فسّر الباحثون ذلك بكون النساء في مرحلة

ما بعد انقطاع الطمث يفقدن جزئيًا التأثير الوقائي لهرمون الإستروجين، مما يزيد من توليد الجذور الحرة ويؤدي إلى ارتفاع TOS النسبي (Sołtysik et al., 2022).

أما في دراستنا، فارتفاع TAS لدى الذكور قد يُعزى إلى زيادة النشاط الأنزيمي لمضادات الأكسدة مثل الكاتالاز وSOD، أو إلى اختلافات في توزيع الدهون الحشوية والجلدية التي تؤثر في إنتاج الأنواع التفاعلية من الأوكسجين (ROS).

وبذلك يمكن القول إنّ تأثير الجنس على مؤشرات الإجهاد التأكسدي في البدانة ليس ثابتاً، بل يعتمد على العمر، الحالة الهرمونية، ونمط البدانة (الحشوية مقابل المحيطية)، وهو ما يفسّر التباين بين الدراسات.

أما في دراسة Jakubiak et al. (2021)، التي أُجريت على شباب بدناء (متوسط عمر ≈ 27 سنة)، فقد كانت قيم TOS وOSI أعلى بشكل ملحوظ من قيمنا بارتباط معنوي ($p \leq 0.05$) في حين لم يتأثر TAS معنوياً ($p > 0.05$) (Jakubiak.,2021).

تشير هذه النتائج إلى أن العمر والجنس قد يؤثران بشكل مختلف في التوازن التأكسدي. فارتفاع TAS عند الذكور في دراستنا قد يُعزى إلى زيادة نشاط الأنظمة الإنزيمية المضادة للأكسدة (مثل الكاتالاز وSOD وGPx) والمحفزة بالتستوستيرون وإلى البنية العضلية الأكبر لديهم، ما يزيد قدرة استهلاك الجذور الحرة (Aitken & Roman, 2008).

أما القيم الأعلى لـ TOS وOSI في دراسة Jakubiak، فربما تعود إلى كون المشاركين أصغر سناً وغالباً ما يُظهرون نمطاً التهابياً ونشاطًا ميتوكوندرياً أعلى، مما يرفع إنتاج ROS (reactive oxygen species).

يمكن أيضًا تفسير ثبات TAS بين الدراستين بكونه يعكس القدرة الكلية لجهاز الدفاع المضاد للأكسدة التي تبقى متوازنة نسبياً عبر الأعمار، في حين أن زيادة TOS وOSI قد يعكس تفاعلاً استقلابياً أكثر نشاطاً عند الفئات الأصغر سناً.

تتفق نتائج دراستنا مع ما أورده الباحثان Kwak وYoon في دراسة مقطعية أُجريت على 406 من البالغين الكوريين، حيث وُجد أن TASيرتفع عند الذكور البدناء بدلالة معنوية ($p \leq 0.05$) مقارنة مع النساء، في حين لم يُلاحظ تأثير معنوي للعمر أو لعوامل الأيض الأخرى على TASوقد فسّر الباحثان ذلك بارتباط زيادة TAS بزيادة تركيز الشحوم الثلاثية (TG) والكوليسترول الكلي (TC)، وربما بزيادة إنتاج حمض البول (Uric acid)الذي يُسهم في رفع القدرة المضادة للأكسدة في المصل.

تدعم هذه النتائج ما توصلنا إليه في دراستنا من أن الذكور البدناء يُظهرون قدرة مضادة للأكسدة TAS مقارنة بالإناث البدينات، مما يشير إلى أن الجهاز الدفاعي المضاد للأكسدة لدى الذكور أكثر نشاطاً، وقد يكون ذلك انعكاساً لاختلافات هرمونية وعضلية ووظيفية في استقلاب الجذور الحرة (Kwak & Yoon, 2007).

وفي جانب أخر، لم تُظهر نتائج الدراسة وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين مؤشر كتلة الجسم (BMI) لدى مرضى البدانة ومشعرات الإجهاد التأكسدي (TAS، TOS، OSI). كما لم نعثر في الأدبيات المتوفرة على دراسات سابقة تُجري مقارنة مباشرة مماثلة، مما يجعل نتائج هذه الدراسة إضافة لافتة تسدّ جانباً بحثياً لم يُتناول بشكل كافٍ.

ومن وجهة نظري كباحث، يمكن تفسير هذه النتائج فيزيولوجياً بأن البدانة تُعدّ حالة التهابية – أيضية مزمنة التب تؤدي إلى زيادة إنتاج الجذور الحرة. ومع ارتفاع إنتاج ROS يزداد العبء التأكسدي على الخلايا، بالتزامن مع استنزاف مضادات الأكسدة الداخلية، مما يفسّر انخفاض TAS وارتفاع TOS وOSI لدى مرضى البدانة. ويعكس هذا الخلل في التوازن بين المؤكسدات ومضادات الأكسدة بداية اضطراب أعمق في البيئة الخلوية، قد يسهم في تطوّر المضاعفات المستقبلية المرتبطة بالبدانة.

الخلاصة (Conclusions)

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن البدانة ترافقها زيادة في الإجهاد التأكسدي واضطراب في التوازن بين المؤكسدات ومضادات الأكسدة، وذلك كما يظهر من التغيير الحاصل في قيم TOS وTAS وOSI حيث لوحظ أن الأفراد البدناء يمتلكون قيم TAS أقل معنوياً من الأصحاء، مما قد يعكس نفاذها في مقابل زيادة إنتاج الجذور الحرة، مع ارتفاع معنوي لقيم TOS وOSI لدى البدناء مقارنة بالأصحاء.

كما أظهرت النتائج أن الذكور البدناء يمتلكون TAS أعلى من الإناث، في حين لم تُسجَّل فروق ذات دلالة إحصائية في TOS أو OSI بين الجنسين، وهو ما يشير إلى احتمال وجود تأثير هرموني (كتأثير التستوستيرون) في تعزيز نشاط الأنظمة المضادة للأكسدة لدى الذكور، في حين لم تظهر النتائج ارتباطاً ذو دلالة إحصائية بين مشعرات الإجهاد التأكسدي وقيم BMI لدى مجموعة البدناء.

تؤكد هذه النتائج أهمية استخدام مؤشرات TOS وTAS وOSI لتقييم الحالة التأكسدية في البدانة، وضرورة مراعاة العوامل الديموغرافية مثل الجنس والعمر عند تفسير نتائج التوازن التأكسدي.

وتوصي الدراسة بإجراء أبحاث مستقبلية على عينات أكبر تشمل تقييم الإنزيمات المضادة للأكسدة النوعية (مثل SOD وCAT وGPx) والعوامل الهرمونية لتوضيح الآليات الدقيقة للتفاعل بين البدانة والإجهاد التأكسدي.

المراجع (References)

- Afonso, V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P., & Lomri, A. (2006). Tumor necrosis factor-α down-regulates human Cu/Zn superoxide dismutase 1 (SOD1) transcript, protein, and promoter activity in a human hepatic cell line. Free Radical Biology and Medicine, 41(3), 563–576. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2006.04.020
- Aitken, R. J., & Roman, S. D. (2008). Antioxidant systems and oxidative stress in the testes. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 1(1), 15–24. https://doi.org/10.4161/oxim.1.1.6843
- Anaya-Morua W., Villafán-Bernal J. R., Ramírez-Moreno E., et al. (2023). Total Antioxidant Capacity in Obese and Non-Obese Subjects and Its Association with Anthropo-Metabolic Markers: Systematic Review and Meta-Analysis. Antioxidants, 12(8), 1512. https://doi.org/10.3390/antiox12081512
- Bray, G. A., Kim, K. K., & Wilding, J. P. H., on behalf of the World Obesity Federation. (2017). Obesity: A chronic relapsing progressive disease process. A position statement of the World Obesity Federation. Obesity Reviews, 18(7), 715–723. https://doi.org/10.1111/obr.12551
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020, February). Prevalence of obesity and severe obesity among adults: United States, 2017–2018. National Center for Health Statistics. https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity-adult-17-18/obesity-adult.htm
- Choromańska, B., Myśliwiec, P., Łuba, M., Wojszkowicz, P., Myśliwiec, H., Choromańska, K., Żendzian-Piotrowska, M., Dadan, J., Zalewska, A., & Maciejczyk, M. (2020). Impact of weight loss on the total antioxidant/oxidant potential in patients with morbid obesity—A longitudinal study. Antioxidants, 9(5), 376. https://doi.org/10.3390/antiox9050376
- DeVallance, E., Li, Y., Jurczak, M. J., Cifuentes-Pagano, E., & Pagano, P. J. (2019). The role of NADPH oxidases in the etiology of obesity and metabolic syndrome: Contribution of individual isoforms and cell biology. Antioxidants & Redox Signaling, 31(10), 687–709. https://doi.org/10.1089/ars.2018.7674
- Didion, S. P. (2017). Cellular and oxidative mechanisms associated with interleukin-6 signaling in the vasculature. International Journal of Molecular Sciences, 18(12), 2563. https://doi.org/10.3390/ijms18122563
- Elizalde, M., Rydén, M., van Harmelen, V., Eneroth, P., Gyllenhammar, H., Holm, C., Ramel, S., Olund, A., Arner, P., & Andersson, K. (2000). Expression of nitric oxide synthases in subcutaneous adipose tissue of nonobese and obese humans. Journal of Lipid Research, 41(8), 1244–1251. PMID: 10946012. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10946012/
- Erel, O. (2004). A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. Clinical Biochemistry, 37(4), 277–285. https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2003.11.015
- Erel, O. (2005). A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. Clinical Biochemistry, 38(12), 1103–1111. https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2005.08.008
- Furukawa, S., Fujita, T., Shimabukuro, M., Iwaki, M., Yamada, Y., Nakajima, Y., Nakayama, O., Makishima, M., Matsuda, M., & Shimomura, I. (2004). Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome. The Journal of Clinical Investigation, 114(12), 1752–1761. https://doi.org/10.1172/JCI21625
- Harma, M., Harma, M., & Erel, Ö. (2003). Increased oxidative stress in patients with hydatidiform mole. Swiss Medical Weekly, 133(41–42), 563–566. https://doi.org/10.4414/smw.2003.10397
- Jakubiak, G. K., Osadnik, K., Lejawa, M., Lewandowski, P., Osadnik, T., & Lonnie, M. (2021). Oxidative Stress in Association with Metabolic Health and Body Weight Status in Young Adults. Antioxidants, 10(7), 1079. https://doi.org/10.3390/antiox10071079
- Kastl, L., Sauer, S. W., Ruppert, T., Beissbarth, T., Becker, M. S., Süss, D., Krammer, P. H., & Gülow, K. (2014). TNF-α mediates mitochondrial uncoupling and enhances ROS-dependent cell migration via NF-κB activation in liver cells. FEBS Letters, 588(1), 175–183. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2013.11.033
- Kietzmann, T., & Mäkelä, V. H. (2021). The hypoxia response and nutritional peptides. Peptides, 138, 170507. https://doi.org/10.1016/j.peptides.2021.170507

- Kwak, H. K., & Yoon, S. (2007). Relation of serum total antioxidant status with metabolic risk factors in Korean adults. Nutrition Research and Practice, 1(4), 335–340. https://doi.org/10.4162/nrp.2007.1.4.335
- Motor, S., Ozturk, S., Ozcan, O., Gurpinar, A. B., Can, Y., Yuksel, R., Zehra Yenin, J., Serarslan, G., & Ozturk, O. H. (2014). Evaluation of total antioxidant status, total oxidant status and oxidative stress index in patients with alopecia areata. International Journal of Clinical and Experimental Medicine, 7(4), 1089–1093. PMCID: PMC4057866. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24955187/
- Pilch, W., Tota, Ł., Piotrowska, A., Śliwicka, E., Zuziak, R., Piotrowski, J., & Żychowska, M. (2021). Blood pro-oxidant/antioxidant balance in young men with class II obesity after 20 sessions of whole-body cryostimulation: A preliminary study. Redox Report, 26(1), 45–51. https://doi.org/10.1080/13510002.2021.1881328
- Sánchez-Rodríguez, M. A., & Mendoza-Núñez, V. M. (2019). Oxidative stress indexes for diagnosis of health or disease in humans. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2019, 4128152. https://doi.org/10.1155/2019/4128152
- Sies, H. (1985). Oxidative stress. Academic Press, San Diego, CA, pp. 1–8. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=640539
- Sindhu, S., Thomas, R., Shihab, P., Sriraman, D., Behbehani, K., & Ahmad, R. (2015). Obesity is a positive modulator of IL-6R and IL-6 expression in the subcutaneous adipose tissue: Significance for metabolic inflammation. PLoS ONE, 10(7), e0133494. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133494
- Söğüt, İ., Şenat Aydın, A., Sağlam Gökmen, E., Gün Atak, P., Erel, Ö., & Görmüş DeGrigo, U. (2018). Evaluation of oxidative stress and thiol–disulfide parameters according to the body mass index in adult individuals. Erciyes Medical Journal, 40(3), 155–161. https://doi.org/10.5152/etd.2018.0059
- Sołtysik, B. K., Karolczak, K., Watała, C., & Kostka, T. (2022). The association of oxidative and antioxidant potential with cardiometabolic risk profile in the group of 60- to 65-year-old seniors from Central Poland. Antioxidants, 11(6), 1065. https://doi.org/10.3390/antiox11061065
- Szlachta, B., Buczkowska, M., Piekarska, K., & Nowicka, G. (2023). Serum oxidative status in people with obesity: Relation to weight loss and body composition. Antioxidants, 12(11), 1923. https://doi.org/10.3390/antiox12111923
- Trayhurn, P. (2013). Hypoxia and adipose tissue function and dysfunction in obesity. Physiological Reviews, 93(1), 1–21. https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2012
- World Health Organization. (2025, May 7). Obesity and overweight. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight