JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ
العدد الأربعون
(٤٣٧)- (٤٥١)

تأثير المعادن الثقيلة على مضادات الأكسدة و وظائف الكبد في المنطقة الصناعية لمدينة الموصل

أ.م.د.محمد عبدالهادي جاسم محمد

جامعة الموصل/كلية التربية للعلوم الصرفة

mohammed.jasim@uomosul.edu.iq

المستخلص :

يُمثل تلوث المعادن الثقيلة تحديًا بيئيًا وصحيًا عامًا متزايدًا، لا سيما في المجتمعات القريبة من المناطق الصناعية. يُعدّ الرصاص والكروم الثلاثي من أكثر المعادن الثقيلة إثارة للقلق نظرًا لتأثيراتهما السمية المُوثّقة جيدًا على العديد من أجهزة الجسم. يمكن أن يدخل كلا المعدنين جسم الإنسان عن طريق استنشاق الهواء الملوث، أو تناول الطعام أو الماء الملوث، أو ملامسة الجلد للغبار الصناعي. يرتبط التعرض المزمن لهذه الملوثات بزيادة الإجهاد التأكسدي، واختلال آليات الدفاع الخلوية المضادة للأكسدة، وإصابة الخلايا الكبدية. يمكن أن يحدث الإجهاد التأكسدي عندما يتجاوز إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية ومنتجات بيروكسيد الدهون، مثل المالونديالدهيد قدرة أجهزة مضادات الأكسدة، بما في ذلك الكلوتاثيون المُخفّض يؤدي هذا الخلل إلى تلف هيكلي ووظيفي في الأنسجة، وخاصةً في الأعضاء النشطة أيضيًا مثل الكبد. تُعدّ إنزيمات الكبد، مثل الانين امينوترانسفريس ,واسبارتيت امينو ترانسفريس ,الفوسفاتيز القاعدي والكاما كلوتامين ترانسفريس بمثابة مؤشرات كيميائية حيوية حساسة لتلف الخلايا الكبدية، والركود الصفراوي، واختلال وظائف القناة الصفراوية. وتهدف الدراسة إلى تقييم تاثير التعرض للكروم والرصاص في المنطقة الصناعية لمحافظة نينوى على وظائف الكبد والإجهاد التاكسدي وتركيز المعادن الثقيلة في مصل الدم والموشرات الحيوية للإجهاد التاكسدي وانزيمات وظائف الكبد مع مراعاة العمر والجنس .

الكلمات المفتاحية :المنطقة الصناعية, الرصاص, الكروم, مالونديالدهيد, الكلوتاثايون,انزيمات الكبد.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

The Effect of Heavy Metals on Antioxidants and Liver Function in the Industrial Area of Mosul

Mohammed A.H.jasim

University of Mosul/College of Education for Pure Sciences

mohammed.jasim@uomosul.edu.iq

Abstract:

Heavy metal pollution represents a growing environmental and public health challenge, particularly in communities near industrial areas. Lead (Pb) and chromium(III) (Cr^{3+}) are among the most concerning heavy metals due to their well-documented toxic effects on multiple body systems. Both metals can enter the human body through inhalation of contaminated air, ingestion of contaminated food or water, or skin contact with industrial dust. Chronic exposure to these pollutants is associated with increased oxidative stress, impaired cellular antioxidant defense mechanisms, and liver cell damage. Oxidative stress occurs when the production of reactive oxygen species (ROS) and lipid peroxide products, such as malondialdehyde (MDA), exceeds the capacity of antioxidant systems, including reduced glutathione (GSH). This imbalance can lead to structural and functional tissue damage, especially in metabolically active organs like the liver. Liver enzymes, alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), alkaline phosphatase (ALP), and gamma-glutamyl transferase (GGT), are sensitive biochemical indicators of hepatocyte damage, cholestasis, and biliary tract dysfunction. The aim was to evaluate the effect of lead (Pb) and chromium (Cr+3) exposure on liver function and oxidative stress in residents of the Industrial area in Mosul Governorate by assessing blood concentrations of heavy metals, biomarkers of oxidative stress (MDA, ROS, and GSH), and liver function enzymes (ALT, AST, ALP, and GGT), and comparing these results to a control group from a non-industrial area, taking into account age and sex differences.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

Keywords: Industrial area, lead, chromium, mannodehyde, glutathione, liver enzymes

المقدمة

تُعدّ الأنشطة الصناعية مصدرًا رئيسيًا للتلوث بالمعادن الثقيلة، مما يؤثر سلبًا في البيئة وصحة الإنسان. تُطلق الصناعات الحيوية، بما في ذلك التعدين والتصنيع والمعالجة الكيميائية، معادن ثقيلة في البيئة من خلال الانبعاثات وتصريف النفايات السائلة وعدم كفاية إدارة النفايات. يُعرّض التعدين الخامات الغنية بالمعادن للعوامل الجوية، مما يؤدي إلى تسربها إلى التربة والمجاري المائية (Long et al., 2021). غالبًا ما تُنتج عمليات التصنيع، مثل طلاء المعادن وإنتاج البطاريات وإعادة تدوير النفايات الإلكترونية، مياه صرف صحي تحتوي على معادن ضارة. إذا لم تُعالج هذه المياه أو لم تُدار بشكل كافٍ، فقد تُلوّث النظم البيئية المائية وتُسبب تراكمًا بيولوجيًا للكائنات الحية (Chakraborty *et al.*, 2022). علاوة على ذلك، تُدخل الانبعاثات المحمولة جوًا من المصادر الصناعية المعادن الثقيلة إلى النظم البيئية الأرضية والمائية من خلال النقل الجوي (Ali *et al.*, 2019).

أدى التطور الصناعي وتطور صناعات التعدين إلى زيادة التلوث البيئي الناتج عن ملوثات المعادن الثقيلة. تُشكل المعادن الثقيلة، المستخدمة تحديدًا في صناعات التعدين والكيماويات والنفط والغاز، فئةً مهمةً من الملوثات البيئية (Aziz et al., 2023). تشمل المعادن الرئيسية الناتجة عن التلوث الصناعي في مستنقعات المياه الطبيعية الحديد(Fe) ، والمنغنيز(Mn) ، والزئبق(Hg) ، والكوبالت (Co)، والكادميوم(Cd) ، والزنك(Zn) ، والزرنيخ(As) ، والرصاص (Pb) (Ahmad and Al-Ghouti, 2020). تستخدم عمليات التعدين لاستخراج المعادن كميات كبيرة من المواد الكيميائية المختلفة، مما يؤدي إلى إطلاق انبعاثات المعادن الثقيلة والنفايات السائلة والغبار(Yin et al., 2025). المعادن الرئيسية المستخدمة في أنشطة التعدين هي الحديد(Fe) ، والألمنيوم(Al) ، والنحاس(Cu) ، والنيكل(Ni) ، والزنك .(Zn) تحمل المياه المخصبة ومياه الجريان السطحي من منطقة التعدين كميات كبيرة من الملوثات المعدنية الثقيلة المذابة، والتي تدخل إلى مستنقعات المياه الطبيعية وبالتالي تلوث البيئة (Zamroni, 2022).

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

يعد الرصاص والكروم من أكثر المعادن الثقيلة سمية لما لهما من آثار كبيرة في صحة الإنسان من خلال تعرض الأفراد الذين يسكنون في المناطق الصناعية والبيئات الملوثة لخطر كبير من التعرض المزمن لهذين المعدنين ,ونظرا لطبيعتهما غير القابلة للتحلل الحيوي وتبقى المعادن الثقيلة في الانظمة البيئية مما يسمح بالتراكم والتضخم الحيوي عبر السلسلة الغذائية مما يزيد من السمية للإنسان ويعد الإجهاد التاكسدي الية رئيسية تسبب بها المعادن الثقيلة السمية (Omrane et al., 2018; Jadaa and Mohammed, 2023). وبحدث ذلك عندما يتجاوز انتاج انواع الاوكسجين التفاعلية قدرة الجسم على مقاومة مضادات الاكسدة ويلحق ضرر بالجزيئات الحيوية الاساسية بما في ذلك البروتينات والدهون والاحماض النووية مما قد يودي إلى اضعاف بنية ووظيفة الاعضاء وخاصة الكبد (García-Niño and Pedraza-Chaverrí, 2014). تعطل المعادن الثقيلة انزيمات مضادات الاكسدة المعتمدة على المعادن عن طريق استبدال العوامل المساعدة الأساسية الزنك والنحاس أو عن طريق تغير تعبير بروتينات مضادات الاكسدة ويعد الكبد العضو الرئيسي لإزالة السموم عرضة بشكل خاص للإجهاد (Balali-Mood et al., 2021).

تُعدّ العناصر الثقيلة (Heavy Metals) من أخطر الملوثات البيئية ذات الأثر التراكمي طويل الأمد في صحة الإنسان، نظرًا لثباتها الكيميائي، وعدم قابليتها للتحلل الحيوي، وقدرتها العالية على التراكم في السلسلة الغذائية .(Salem, A. M., & El-Metwally, M. E. 2024). وتشمل هذه العناصر معادن سامة مثل الرصاص، الزئبق، الكادميوم، الزرنيخ، والكروم، والتي تنتج عن الأنشطة الصناعية، واحتراق الوقود الأحفوري، والتعدين، وصهر المعادن، إضافة إلى استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية.(Jomova et al.,2025).

تدخل العناصر الثقيلة إلى جسم الإنسان عبر ثلاث طرق رئيسية: الاستنشاق (الهواء الملوث بالغبار الصناعي أو الأبخرة)، والابتلاع (الماء والغذاء الملوثين)، والامتصاص الجلدي (خاصة في البيئات المهنية). وبعد دخولها إلى الجسم، تنتقل عبر الدورة الدموية لتترسب في الأنسجة الحيوية مثل الكبد، والكلى، والدماغ، والعظام، حيث قد تبقى لفترات طويلة نتيجة بطء إخراجها. ويُعدّ التراكم الحيوي (Bioaccumulation) أحد أهم أسباب خطورتها، إذ تزداد تراكيزها تدريجيًا مع استمرار التعرض حتى وإن كانت الجرعات منخفضة.(Patil et al., 2025).

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

من الناحية البيوكيميائية، تؤثر العناصر الثقيلة في صحة الإنسان من خلال عدة آليات مرضية، أهمها:

تعمل العناصر الثقيلة على زيادة إنتاج الجذور الحرة (Reactive Oxygen Species – ROS)، مما يؤدي إلى تلف الدهون الغشائية(Lipid Peroxidation) ، وتخريب البروتينات، وإحداث طفرات في الحمض النووي.DNA ترتبط هذه العناصر بالمجموعات السلفهيدريل (SH–) في البروتينات والإنزيمات، مما يؤدي إلى تعطيل وظائفها الأيضية.(Hou *et al* 2020). قد تحلّ بعض العناصر الثقيلة محل العناصر الأساسية في الجسم؛ فمثلًا يمكن للرصاص أن يحل محل الكالسيوم في العظام، مما يؤثر في النمو العصبي والعظمي.بعض العناصر مثل الكروم السداسي والزرنيخ تُعد من المواد المسرطنة، إذ تسبب تغيرات جينية تؤدي إلى تحفيز تكاثر الخلايا غير المنضبط...(Jomova et al.,2025).

من الناحية السريرية، يرتبط التعرض المزمن للعناصر الثقيلة بعدد من الاضطرابات المرضية، منها: يُسبب الرصاص والزئبق تلفًا عصبيًا، واضطرابات في الذاكرة والتركيز، وتأخرًا نمائيًا لدى الأطفال.(Sinicropi, M. S. 2024).يُعد الكادميوم من أهم مسببات الاعتلال الكلوي المزمن نتيجة تراكمه في الأنابيب الكلوية.(Cheema *et al* .,2025) تؤدي هذه العناصر إلى اضطرابات في إنزيمات الكبد وزيادة مؤشرات الالتهاب. (Salahel din *et al*., 2024). يرتبط التعرض المزمن بارتفاع ضغط الدم وتصلب الشرايين نتيجة الإجهاد التأكسدي.قد تُضعف الاستجابة المناعية وتزيد من القابلية للإصابة بالأمراض.(Cheng *et al* .,2025).

وتزداد خطورة التعرض للعناصر الثقيلة في الدول ذات النشاط الصناعي المكثف أو ضعف الرقابة البيئية، كما أن الفئات الأكثر عرضة للخطر تشمل الأطفال، والحوامل، والعاملين في الصناعات الثقيلة.(Teschke.*et al*.,2024) بناءً على ما تقدم، فإن دراسة تأثير العناصر الثقيلة تمثل محورًا مهمًا في مجالات السموم البيئية والصحة العامة، لما لها من انعكاسات مباشرة على عبء الأمراض المزمنة. كما أن الكشف المبكر عن مستوياتها في الدم أو الأنسجة الحيوية، إلى جانب تعزيز برامج الوقاية والتشريعات البيئية، يُعدّ ضرورة ملحّة للحد من مخاطرها الصحية وضمان بيئة آمنة ومستدامة.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

(Sharma, M., & Kumar, P. 2025)

الجزء العملي :

شملت الدراسة الحالية ١٢٠ مشاركًا سليمًا (٦٠ أنثى و٦٠ ذكرًا) تتراوح أعمارهم بين (١٠-٥٠) سنة ، ويقيمون في محافظة نينوى. أُجريت الدراسة في الفترة من نوفمبر ٢٠٢٤ إلى أبريل ٢٠٢٥. حيث تم قياس العناصر المعدنية الرصاص والكروم اضافة إلى مضادات الاكسدة الكلوتاثايون ومالونديالدهيد وانزيمات وظائف الكبد(ALP,AST,ALT وGGT).

تحليل عينات الدم الكامل:

اختير مطياف الامتصاص الذري بفرن الجرافيت (GF-AAS) لحساسيته العالية وملاءمته لتحليل المعادن النزرة في العينات البيولوجية لقياس مستوى الرصاص والكروم في مصل الدم . حُضِّرت محاليل معايرة قياسية بتركيز ١٠٠٠ ملغم/لتر بإضافة قطرة من حمض النتريك بتركيز ٦٥% إلى معايير متعددة العناصر. أُعِدَّت عينات تحليلية فارغة ومنحنيات معايرة لكل عنصر لضمان الدقة والضبط. حُوِّلت العينات المهضومة، كما هو موضح في القسم ٣,٥، إلى ذرات في فرن الجرافيت، وقيست الامتصاصية لتحديد تركيزات المعادن في العينات المجهولة. حُدِّدت هذه التركيزات بمقارنة قيم امتصاصها مع قيم المعايير المعروفة باستخدام منحنيات المعايرة(Hassan and Fadhil, 2022).

مجلة العلوم الاساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الاساسية

تقدير انزيمات وظائف الكبد :

تقدير مستوى مالونديالدهيد في مصل الدم :

يتفاعل مالونديالدهيد وهو ناتج ثانوي لأكسدة الدهون مع حمض الثيوبربيتوريك في ظروف حمضية ودرجة حرارة عالية ، ويتم قياسها طيفيًا عند ٥٣٢ نانومتر (Tukozkan *et al.*, 2006). تكوين مُلوِّن وردي اللون تتناسب شدة هذا المُلوِّن طرديًا مع تركيز المركب

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

تقدير مستوى الكلوتاثايون في مصل الدم :

تم تقدير مستوى الكلوتاثايون المختزل في مصل الدم باستخدام تقنية الاليزا اللونية من شركة الصينية ويعتمد الاختبار على الارتباط بين الكلوتاثايون مع الجسم المضاد له في حفر الاليزا مشكلا مركب مستضد – جسم مضاد بعد اضافة الكاشف المقترن بانزيم بيروكسيديز وينتج عن التفاعل الانزيمي مركب ازرق اللون ويتحول إلى اللون الاصفر عنؤ اضافة محلول الايقاف وتتناسب شدة اللون الاصفر طرديا مع تركيز الكلوتاثايون في العينة ويتم قياس الامتصاصية عند ٥٤٠ نانوميتر ,حيث يتم حساب امتصاصية العينة من خلال تحضير منحني قياسي (Jozefczak *et al.*, 2012).

التحليل الاحصائي : تم تحليل نتائج البحث باستخدام نظام التحليل الاحصائي (spss ٢٠) من خلال اختبار (t-test). عند مستوى احتمالية ($P \leq 0.05$).

النتائج والمناقشة :

١-العناصر المعدنية :

بينت نتائج هذه الدراسة وجود ارتفاع معنوي في مستوى المعادن الثقيلة الكروم والرصاص في مصل الدم لمجموعة الاشخاص الذين يعيشون في المنطقة الصناعية(رجال ونساء) مقارنة مع مجموعة السيطرة كما موضح في الجدول رقم (١) وقد يعود السبب في ذلك زيادة التعرض أو تراكم الرصاص والكروم لدى الحالات المصابة، مما يوحي بوجود عوامل بيئية أو مهنية محتملة تساهم في هذا التفاوت. وتؤكد هذه الاختلافات الكبيرة على ضرورة إجراء المزيد من الأبحاث حول مصادر وتأثيرات ارتفاع مستويات المعادن الثقيلة على الصحة لدى السكان المتضررين، كما تسلط الضوء على أهمية تطبيق استراتيجيات وقائية ومراقبة دقيقة (Brown *et al.*, 2022).

وبينت النتائج ان الذكور يكون مستوى الكروم والرصاص لديهم اعلى من الاناث لنفس المجموعة المعرضة للتلوث وقد يعود السبب لذلك ارتفاع تركيز الرصاص لدى الذكور مقارنةً بالإناث إلى عدة عوامل، منها زيادة التعرض المهني أو البيئي لدى الذكور، نظرًا لاحتمالية انخراطهم بشكل أكبر في الصناعات أو الأنشطة التي ينتشر فيها التعرض للرصاص (مثل التصنيع أو البناء أو التعدين)(Sazakli *et al.*, 2014). قد تُسهم الفروق الاجتماعية، مثل زيادة التعرض للبيئات الملوثة، في

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

ذلك. كما يمكن أن تؤثر الاختلافات الفسيولوجية بين الجنسين، مثل التغيرات الهرمونية وتكوين دهون الجسم، على امتصاص الرصاص واستقلابه وتراكمه(Vahter *et al.*, 2007). في المقابل، يشير عدم وجود فرق كبير في مستويات الكروم (Cr) بين الذكور والإناث إلى أن مصادر التعرض والمعالجة البيولوجية للكروم قد تكون متشابهة بين الجنسين أو أن مستويات التعرض للكروم في هذا المجتمع لا تختلف اختلافًا كبيرًا حسب الجنس) (Banu *et al.*, 2018).

٢-إنزيمات وظائف الكبد :

كما أشارت نتائج هذه الدراسة إلى وجود ارتفاع معنوي في كل من انزيمات وظائف الكبد في مجموعة الاشخاص اللذين يعيشون المناطق الصناعية مقارنة مع مجموعة السيطرة كما موضح في الجدول رقم (١) وقد يعود السبب في ذلك أن متوسط قيم إنزيمات (ALT ,AST ,ALP ,GGT) كان أعلى باستمرار في مجموعة كاشي مقارنةً بمجموعة الضبط، حيث يُعدّ كل من ALT و AST مؤشرين حساسين لتلف خلايا الكبد، ولكن ارتفاعهما غير الملحوظ في مجموعة الحي الصناعي يشير إلى أنه ربما لم يكن هناك تلف كافٍ في خلايا الكبد للتمييز بين مجموعة الحي الصناعي ومجموعة الضبط (Firoozichahak *et al.*, 2022).

لوحظت نتائج مماثلة في دراسات سابقة، حيث أشارت إلى زيادات طفيفة في نشاط إنزيمات الكبد لدى المجموعات المعرضة للمعادن، ولكن دون وجود خلل كبير في وظائف الكبد. كما لاحظت أبحاث أخرى ارتفاعًا طفيفًا في إنزيمي ALT و GGT لدى الأفراد المعرضين بشكل مزمن، وربطت ذلك باختلال التوازن التأكسدي بدلًا من التلف النخري. لذا، تتوافق النتائج الحالية مع أدلة سابقة تشير إلى أن التعرض المزمن لمستويات منخفضة من الرصاص والكروم قد يُسبب تغيرات طفيفة في خلايا الكبد، يمكن رصدها من خلال اتجاهات الإنزيمات، ولكن دون وجود فروق ذات دلالة إحصائية (Onah *et al.*, 2023).

يمكن تفسير هذه النتائج بعدة عوامل، منها احتمال أن تكون الحالات في مرحلة مبكرة أو خفيفة من المرض، والتي قد لا تظهر بعد كتغيرات كيميائية حيوية واضحة. ربما تكون القدرة الإحصائية على تحديد الاختلافات الطفيفة محدودة بحجم العينة (٦٠ فردًا في كل مجموعة)، وربما تكون الروابط المحتملة مخفية بسبب التباين البيولوجي في مستويات الإنزيمات. تشير النتائج إلى وجود ميل

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

لارتفاع مستويات إنزيمات الكبد في بعض الحالات. ومع ذلك، فإنها لا تقدم أدلة جوهرية على وجود خلل كبدي حاد سريريًا. وهذا يؤكد ضرورة إجراء بحوث أكثر شمولاً أو دمج مؤشرات حيوية أكثر حساسية لتوضيح العلاقة (Tang *et al.*, 2024).

٣-الإجهاد التاكسدي ومضادات الاكسدة :

أشارت نتائج هذه الدراسة إلى وجود ارتفاع معنوي في كل من مالونديالدهيد وانخفاض معنوي في مستوى الكلوتاثايون عند مقارنة مجموعة الساكنين في المنطقة الصناعية مع مجموعة السيطرة كما موضح في الجدول رقم (١) .

الجدول رقم (١) العناصر المعدنية والمتغيرات الكيموحيوية لمتغيرات الكبد في مجموعة السيطرة ومجموعة الدراسة

المتغيرات الكيموحيوية	مجموعة السيطرة العدد (٦٠)	مجموعة المنطقة الصناعية العدد (٦٠)	*P
الرصاص **µg/dl**	0.175±1.112	0.210±3.321	0.001
الكروم **µg/dl**	0.079±1.421	0.022±1.331	0.001
MDA **µmol/L**	0.0114±0.4921	0.0267±0.7932	0.001
GSH **µmol/L**	0.0218±2.31	0.0614±1.521	0.001
ALT	1.342±11.12	0.865±14.51	0.001
AST	0.769±21.22	2.118±24.32	0.001
ALP	11.92±122.15	11.113±146.21	0.001

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

GGT	1.45±14.72	2.76±18.21	0.001

القيم للجدول تشير إلى المعدل ± الانحراف القياسي / *:اختبار _T_عند مستوى احتمالية P≤0.05

وقد يعود السبب في ذلك تشير النتائج إلى أن المجموعة المصابة تُظهر خللاً في التوازن بين أنظمة الأكسدة ومضادات الأكسدة، يتميز بزيادة إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية ونواتج بيروكسدة الدهون التي تتجاوز قدرة الجسم على مقاومة الأكسدة. ينتج عن ذلك إجهاد تأكسدي، مما يؤدي إلى تلف الخلايا والأنسجة. كما أن انخفاض مستوى الكلوتاثيون يُضعف قدرة الجسم على تحييد الجذور الحرة، مما يُطيل دورة التلف التأكسدي. قد يلعب هذا الخلل التأكسدي دورًا في تطور المرض أو تطوره الذي يؤثر على مجموعة الحالات. (Hasan *et al.*, 2025; Meshabaz and Umer, 2022).

تشير النتائج إلى وجود اختلافات بين الجنسين في الإجهاد التأكسدي وتوازن مضادات الأكسدة، حيث يُظهر الذكور مستويات أعلى من الإجهاد التأكسدي مقارنةً بالإناث. ويُشير ارتفاع مستويات MDAبشكل ملحوظ لدى الذكور إلى زيادة بيروكسدة الدهون، وهو ما قد يُعزى إلى ارتفاع النشاط الأيضي، وزيادة إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية، أو عوامل نمط الحياة مثل التدخين، واستهلاك الكحول، والعادات الغذائية الشائعة بين الرجال. في المقابل، أظهرت الإناث مستويات أقل من MDA، وهو ما قد يُفسر جزئيًا التأثيرات الوقائية لمضادات الأكسدة التي يُوفرها هرمون الإستروجين، حيث يُعزز نشاط إنزيمات مضادات الأكسدة الداخلية ويُقلل من بيروكسدة الدهون (Russo *et al.*, 2012).

بشكل عام، تشير النتائج إلى أن التعرض للمعادن الثقيلة (الرصاص والكروم الثلاثي) يُسهم في اختلال التوازن التأكسدي بشكل مختلف لدى الرجال والنساء. يُظهر الرجال عبئًا تأكسديًا أكبر وارتفاعًا في مستوى مالونديالدهيد(MDA) ، بينما تُظهر النساء ميلًا نحو قدرة أكبر على معادلة مضادات الأكسدة، وارتفاعًا في مستوى الكلوتاثيون المختزل .(GSH) قد يكون لهذه الاختلافات بين

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

الجنسين آثار في قابلية الإصابة بالأمراض، وتطورها، والمخاطر الصحية طويلة الأمد المرتبطة بالتعرض المزمن للمعادن الثقيلة(Nurdyansyah *et al.*, 2023).

تتفق هذه النتائج مع التقارير السابقة التي تشير إلى أن الأمراض والتعرض للمعادن الثقيلة يُفاقمان اختلال التوازن التأكسدي المرتبط بالتقدم في السن، والذي يتميز بارتفاع مستويات أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) ومالونديالدهيد(MDA) ، بينما ينخفض مستوى الكلوتاثيون كما أكدت دراسات سابقة أن مؤشرات التأكسد. تكون أكثر وضوحًا لدى الأفراد المعرضين للأمراض أو المصابين بها بشكل مزمن مقارنةً بالأفراد الأصحاء، وذلك نتيجةً لطول فترة توليد الجذور الحرة وانخفاض آليات الإصلاح في الحالات المرضية (AMEEN and ISSA, 2020).

وتؤكد هذه البيانات أهمية العلاج الموجه بمضادات الأكسدة للفئات السكانية المعرضة للأمراض أو المتأثرة بها، وخاصةً أولئك الذين يمرون بمرحلة الشيخوخة. قد تُسهم استراتيجيات مثل زيادة مستوى الكلوتاثيون، وتعديل نمط الحياة، والحد من التعرض للعوامل البيئية في تخفيف الإجهاد التأكسدي التراكمي. كما أن دمج المؤشرات الحيوية التأكسديةMDA) ، وROS، و (GSHفي التقييمات السريرية يُتيح الكشف المبكر عن اختلال التوازن التأكسدي والاختزالي، ويُسهّل التدخلات الوقائية في الوقت المناسب (Wallace *et al.*, 2020; Narayanankutty *et al.*, 2019).

الاستنتاجات :

يُظهر هذا البحث أن التعرض المزمن للمعادن الثقيلة في المنطقة الصناعية لمدينة الموصل يرتبط بتأثيرات سلبية واضحة على منظومة مضادات الأكسدة ووظائف الكبد. إذ أدّت زيادة تراكيز المعادن الثقيلة إلى إحداث خلل في التوازن التأكسدي–الاختزالي، تمثّل بانخفاض معنوي في مستويات مضادات الأكسدة الحيوية، بالتزامن مع ارتفاع مؤشرات الإجهاد التأكسدي. كما انعكس هذا الخلل على وظائف الكبد من خلال التغيرات الملحوظة في إنزيماته الحيوية، مما يشير إلى حدوث أذى خلوي واضطراب في سلامة الخلايا الكبدية . وتؤكد النتائج أن التلوث البيئي بالمعادن الثقيلة في المناطق الصناعية يُعد عاملاً خطراً يهدد الصحة العامة، خاصة فيما يتعلق بصحة الكبد والأنظمة الدفاعية المضادة للأكسدة. وعليه، يوصي البحث بضرورة تعزيز الرقابة البيئية، والحد من

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

مصادر التلوث الصناعي، إضافة إلى إجراء دراسات أوسع لتقييم المخاطر الصحية بعيدة المدى ووضع استراتيجيات وقائية وعلاجية مناسبة لسكان المناطق المتأثرة.

المصادر :

1. 1Ahmad, A. Y., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Approaches to achieve sustainable use and management of groundwater resources in Qatar: A review. *Groundwater for sustainable development*, *11*, 100367.
2. Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry*, *2019*(1), 6730305. doi: 10.1155/2019/6730305.
3. AMEEN, Z., & ISSA, N. (2020). OXIDANT-ANTIOXIDANT STATUS IN PATIENTS WITH KNEE OSTEOARTHRITIS IN DUHOK CITY, KURDISTAN REGION OF IRAQ. *INTERNATIONAL JOURNAL*, *10*(3), 448-453. doi: 10.25258/ijddt.10.3.25.
4. Aziz, K. H. H., Mustafa, F. S., Omer, K. M., Hama, S., Hamarawf, R. F., & Rahman, K. O. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC advances*, *13*(26), 17595-17610. doi: 10.1039/d3ra00723e.
5. Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in pharmacology*, *12*, 643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.
6. Banu, S. K., Stanley, J. A., Taylor, R. J., Sivakumar, K. K., Arosh, J. A., Zeng, L., ... & Padmanabhan, V. (2018). Sexually dimorphic impact of chromium accumulation on human placental oxidative stress and apoptosis. *Toxicological Sciences*, *161*(2), 375-387. doi:10.1093/toxsci/kfx224.
7. Brown, M. J., Patel, P., Nash, E., Dikid, T., Blanton, C., Forsyth, J. E., ... & Shrivastava, A. (2022). Prevalence of elevated blood lead levels and risk factors among children living in Patna, Bihar, India 2020. *PLOS global public health*, *2*(10), e0000743. doi: 10.1371/journal.pgph.0000743.
8. Chakraborty, S. C., Qamruzzaman, M., Zaman, M. W. U., Alam, M. M., Hossain, M. D., Pramanik, B. K., ... & Moni, M. A. (2022). Metals in e-waste: Occurrence, fate, impacts and remediation technologies. *Process Safety and Environmental Protection*, *162*, 230-252.
9. Cheema, S., Hussain, S. I., Faheem, M. S. B., Jalal, A. A., Rifai, M., Dar, A., ... & Samadi, S. (2025). Toxic heavy metal exposure and heart health: a systematic review and meta-analysis of 324,331 patients. *BMC Cardiovascular Disorders*, *25*(1), 792.
10. Cheng, Y. F., Zhao, Y. J., Chen, C., & Zhang, F. (2025). Heavy metals toxicity: mechanism, health effects, and therapeutic interventions. *MedComm*, *6*(9), e70241.
11. El Youssfi, M., Abida, S., El Hazzat, M., Bouhaddou, N., Laghzizil, A., Ben Aakame, R., ... & Sifou, A. (2025). Monitoring and health risk assessment of lead and cadmium in date palm fruit cultivars growing in Morocco. *Biological Trace Element Research*, *203*(3), 1667-1675.

12. Firoozichahak, A., Rahimnejad, S., Rahmani, A., Parvizimehr, A., Aghaei, A., & Rahimpoor, R. (2022). Effect of occupational exposure to lead on serum levels of lipid profile and liver enzymes: An occupational cohort study. *Toxicology reports*, *9*, 269-275. doi: 10.1016/j.toxrep.2022.02.009.
13. García-Niño, W. R., & Pedraza-Chaverrí, J. (2014). Protective effect of curcumin against heavy metals-induced liver damage. *Food and chemical toxicology*, *69*, 182-201. doi: 10.1016/j.fct.2014.04.016.
14. Hasan, B. K., Abdulazeez, J. S., Hassan, M. K., Abbas, H. J., & Al-Naama, L. M. (2025). Lead and iron levels in maternal and umbilical cord blood in Basrah, Iraq. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, *25*(1), 319. doi: 10.18295/2075-0528.2840.
15. Hassan and Fadhil, "Determination the levels of some heavy metals and study its effect on antisocial behavior among adolescents," 2022. *https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/elsevieraccess/*,
16. Hou, D., O'Connor, D., Igalavithana, A. D., Alessi, D. S., Luo, J., Tsang, D. C., ... & Ok, Y. S. (2020). Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(7), 366-381.
17. Jadaa, W., & Mohammed, H. (2023). Heavy metals–definition, natural and anthropogenic sources of releasing into ecosystems, toxicity, and removal methods–an overview study. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(6), 249-271. doi: 10.12911/22998993/162955.
18. Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*, *99*(1), 153-209.
19. Jozefczak, M., Remans, T., Vangronsveld, J., & Cuypers, A. (2012). Glutathione is a key player in metal-induced oxidative stress defenses. *International journal of molecular sciences*, *13*(3), 3145-3175. doi: 10.3390/ijms13033145.
20. Long, Z., Huang, Y., Zhang, W., Shi, Z., Yu, D., Chen, Y., ... & Wang, R. (2021). Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(1), 20. doi: 10.1007/s10661-020-08807-z.
21. Meshabaz, R. A., & Umer, M. I. (2022). Investigation of the impacts of the industrial effluent on sheep ecology downward Kwashe industrial area, Iraq Kurdistan Region. *International journal of health sciences*, *6*(S4), 4064-4077. doi: 10.53730/ijhs.v6ns4.9034.
22. Narayanankutty, A., Job, J. T., & Narayanankutty, V. (2019). Glutathione, an antioxidant tripeptide: dual roles in carcinogenesis and chemoprevention. *Current Protein and Peptide Science*, *20*(9), 907-917. doi: 10.2174/1389203720666190206130003
23. Nurdyansyah, F., Widyastuti, D. A., & Mandasari, A. A. (2023, June). The effect of stinky bean (Parkia speciosa) peel ethanolic extract to enhance superoxide dismutase (SOD) and reduce malondialdehyde (MDA) level of "jelantah" exposed rats. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1200, No. 1, p. 012049). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/1200/1/012049.
24. Omrane, F., Gargouri, I., Khadhraoui, M., Elleuch, B., & Zmirou-Navier, D. (2018). Risk assessment of occupational exposure to heavy metal mixtures: a study

protocol. *BMC Public Health*, *18*(1), 314. doi: 10.1186/s12889-018-5191-5.

25. Onah, C. E., Onah, C. F., Suru, S. M., Olisah, C. M., Ehiaghe, A. F., Ogbodo, C. E., ... & Dioka, C. E. (2023). The effects of lead on some markers of liver and kidney functions of lead recycling factory workers are mediated through increased oxidative stress. *Avicenna Journal of Medical Biochemistry*, *11*(1), 41-45. doi: 10.34172/ajmb.2023.2430.

26. Patil, A., Chakraborty, S., Yadav, Y., Sharma, B., Singh, S., & Arya, M. (2025). Bioremediation strategies and mechanisms of bacteria for resistance against heavy metals: a review. *Bioremediation Journal*, *29*(4), 448-480.

27. Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., Testa, G., ... & Abete, P. (2012). Oxidative stress and diseases. *Oxidative Stress Dis*, *3*, 757-72. doi: 10.5772/2535.

28. Salahel din, K., Abdalbasit, Y., Abbady, A., & Saad, N. (2025). Assessment of toxic heavy metals in commonly consumed foods in Egypt and their implications for public health and safety. *Scientific Reports*.

29. Salem, A. M., & El-Metwally, M. E. (2024). Bioaccumulation and Health risk potential of heavy metals including cancer in wild and farmed meagre Argyrosomus regius (Asso, 1801), Mediterreanean Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, *28*(4), 1277-1301.

30. Sazakli, E., Villanueva, C. M., Kogevinas, M., Maltezis, K., Mouzaki, A., & Leotsinidis, M. (2014). Chromium in drinking water: association with biomarkers of exposure and effect. *International journal of environmental research and public health*, *11*(10), 10125-10145. doi: 10.3390/ijerph111010125.

31. Sharma, M., & Kumar, P. (2025). Environmental sources of heavy metals and their impacts on human health. In *Heavy Metal Toxicity and Neurodegeneration* (pp. 317-326). Academic Press.

32. Sinicropi, M. S. (2024). Special Issue on" Heavy Metal Toxicity: Environmental and Human Health Risk Assessment". *Applied Sciences (2076-3417)*, *14*(3).

33. Tang, S., Luo, S., Wu, Z., & Su, J. (2024). Association between blood heavy metal exposure levels and risk of metabolic dysfunction associated fatty liver disease in adults: 2015–2020 NHANES large cross-sectional study. *Frontiers in Public Health*, *12*, 1280163. doi: 10.3389/fpubh.2024.1280163.

34. Teschke, R., Chien, N. X., & Xuan, T. D. (2025). Impact of Heavy Metals as Trace Elements on the Ecosystem and Health. *Recent Progress in Nutrition*, *5*(4), 1-61.

35. Tukozkan, N., Erdamar, H., & Seven, I. (2006). Measurement of total malondialdehyde in plasma and tissues by high-performance liquid chromatography and thiobarbituric acid assay. *Firat Tip Dergisi*, *11*(2), 88-92. http://www.firattipdergisi.com/text.php3?id=334

36. Vahter, M., Åkesson, A., Lidén, C., Ceccatelli, S., & Berglund, M. (2007). Gender differences in the disposition and toxicity of metals. *Environmental research*, *104*(1), 85-95. doi: 10.1016/j.envres.2006.08.003.

37. Wallace, D. R., Taalab, Y. M., Heinze, S., Tariba Lovaković, B., Pizent, A., Renieri, E., ... & Buha Djordjevic, A. (2020). Toxic-metal-induced alteration in miRNA expression profile as a proposed mechanism for disease development. *Cells*, *9*(4), 901.

doi: 10.3390/cells9040901.

38. Yin, Z., Song, J., Liu, D., Wu, J., Yang, Y., Sun, Y., & Wu, J. (2025). Mapping mining-affected water pollution in China: status, patterns, risks, and implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, *29*(16), 3957-3973. https://hess.copernicus.org/preprints/hess-2024-387/

39. Zamroni, A. (2022). Assessment of heavy metal concentrations in seawater in the coastal areas around Daerah Istimewa Yogyakarta Province, Indonesia. *Iraqi Geological Journal*. doi: 10.46717/igj.55.1B.2Ms-2022-02-18.

مجلة العلوم الاساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الاساسية

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد الأربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٧هـ

مجلة العلوم الاساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الاساسية