مجلة الشرق الأوسط للنشر العلمي
المجلد (٩) العدد (٧)
الإصدار السابع والثلاثون
٢٠٢٦ (١٦-١)

تقييم تراكيز بعض العناصر الثقيلة السامة والعناصر الأساسية في عينات الدم لدى مرضى السرطان والأصحاء وعلاقتها بالتعرض البيئي

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

أ. مسعود فرج ابوستة

كلية العلوم، قسم الكيمياء جامعة وادي الشاطئ

أ. اكـرم عطية،

م . رتاج الفيتوري ابولسعاد

كلية البيئة والموارد الطبيعية جامعة وادي الشاطئ

نشر إلكترونياً بتاريخ: ٦ يوليو ٢٠٢٦م

١- المقدمة

١,١. التمهيد والمقدمة

يُعد مرض السرطان أحد أكبر التحديات الصحية العالمية المعاصرة، إلا أن أبعاده في الدولة الليبية باتت تأخذ منحنىً يستوجب الدراسة والتحليل، خاصة في مناطق الجنوب. وفي سياق الطب البيئي الحديث لعام ٢٠٢٦، لم يعد يُنظر إلى الأورام كخلل جيني معزول، بل كاستجابة بيولوجية معقدة للتلوث المعدني التراكمي. وتبرز أهمية هذه الدراسة في تسليط الضوء على التوازن الدقيق بين العناصر الأساسية التي تدعم الدفاعات الحيوية، والعناصر الثقيلة السامة التي تعمل كمسرطنات معدنية قادرة على تدمير شفرة الحمض النووي.

إن جسم الإنسان في هذه المناطق يعمل ك مراكم بيولوجي لهذه السموم عبر السلاسل الغذائية والمياه الجوفية، مما يؤدي إلى ظاهرة التضخم الحيوي، هذا الاختلال البيئي الداخلي لا يمهد الطريق للتحول السرطاني فحسب، بل يمتد تأثيره ليشمل المسار العلاجي. فالمريض في مناطق الجنوب الليبي قد يواجه ما يعرف بـ السمية المزدوجة وهي تفاعل الأدوية الكيميائية مع الحمل البدني للملوثات المعدنية المخزنة في أنسجته مسبقاً نتيجة العوامل البيئية.

وتعرف المعادن الثقيلة بانها عناصر معنية ذات كثافة عالية نسبيا مقارنة بالماء، وهي من أكثر مجموعات الملوثات البيئية دراسة. تشكل المعادن الثقيلة مخاطر جسيمة على صحة الإنسان، لا سيما مع ازدياد التعرض لها نتيجةً للأنشطة الصناعية والبشرية خلال القرن الماضي. غالبا ما يؤدي تلوث الهواء والماء والغذاء إلى التسمم الحاد أو المزمن ، علاوة على ذلك، يمكن أن تتراكم المعادن الثقيلة في أنسجة وأعضاء الجسم المختلفة، بما في ذلك الدماغ والكبد والجهاز الهضمي والجلد وأنسجة الندي والجهاز التناسلي الأنثوي تشمل مجموعة المعادن الثقيلة معادن سامة مثل الكادميوم و الرصاص والمنغنيز والكروم بالإضافة إلى ذلك تعرف أشباه الفلزات مثل الزرنيخ والألومنيوم بانها مواد مسرطنة يصنف الزرنيخ والكادميوم والكروم والنيكل ضمن المجموعة الاولى من المواد المسرطنة من قبل الوكالة الدولية لأبحاث السرطان.

١,٢ . مشكلة البحث

شهدت البيئة في العقود الأخيرة تزايدًا ملحوظًا في مستويات التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية المختلفة، مثل الانبعاثات الصناعية، وحرق الوقود الأحفوري، واستخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية، والتخلص غير الآمن من النفايات ، ويعد تلوث البيئة بالعناصر الثقيلة من أخطر أنواع التلوث البيئي نظرًا لقدرتها على الانتقال عبر السلاسل الغذائية والتراكم الحيوي داخل أجسام الكائنات الحية ، بما في ذلك الإنسان.

وتُعد العناصر الثقيلة مثل الرصاص (Pb) ، الكادميوم (Cd) ، الزرنيخ (As) من الملوثات البيئية السامة التي يمكن أن تصل إلى جسم الإنسان عبر الماء والغذاء والهواء، ثم تتراكم في الدم والأنسجة الحيوية، مسببة آثارًا صحية خطيرة تشمل اضطرابات الجهاز العصبي، وضعف الجهاز المناعي، وزيادة احتمالية الإصابة بالأمراض المزمنة ومن بينها السرطان.

وعليه فإن، مشكلة ترتكز على التساؤل الآتي: –

هل توجد مستويات مرتفعة من العناصر الثقيلة في دم الإنسان، وهل يمكن ربط هذه المستويات بالتعرض البيئي للملوثات المعدنية؟

كما يسعى البحث إلى الإجابة عن تساؤلات فرعية، من بينها: –

١– ما مدى اختلاف تراكيز العناصر الثقيلة في الدم مقارنة بالقيم المرجعية الطبيعية؟

٢– إلى أي حد يعكس الدم كمؤشر حيوي مستوى التلوث البيئي المحيط بالإنسان؟

٣– هل يمكن اعتبار تراكيز العناصر الثقيلة في الدم أداة لتقييم المخاطر البيئية على الصحة العامة؟

١,٣ . منهجية البحث

تأتي هذه الدراسة ضمن إطار الدراسات الوصفية التحليلية المقارنة، وتهدف إلى تقييم تراكيز بعض العناصر المعدنية الثقيلة والأساسية في عينات الدم لدى مرضى السرطان ومقارنتها مع مجموعة من الأفراد الأصحاء (كنترول)، وذلك في عدد من المناطق الواقعة في الجنوب الليبي، شملت أوباري، براك الشاطئ، تاروت، تراغن، سبها، مرزق، وونزريك.

وتكتسب هذه المناطق أهمية بيئية وبحثية خاصة، نظرًا لما تعانيه من تحديات تتعلق بجودة مصادر المياه والتربة، إضافة إلى بعض الأنشطة البشرية المرتبطة باستغلال الموارد الطبيعية،

والتي قد تسهم في زيادة مستويات التعرض البيئي للعناصر الثقيلة، مثل الرصاص والكادميوم والزرنيخ.

وقد اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال قياس تراكيز العناصر المعدنية المختارة في عينات الدم باستخدام التقنيات التحليلية المناسبة، ومن ثم تحليل النتائج إحصائيًا وربطها بالعوامل البيئية المحتملة، بهدف توضيح العلاقة بين التلوث المعدني وصحة الإنسان في المنطقة المدروسة

وتعد هذه الدراسة من الدراسات الاستكشافية التي تسهم في توفير قاعدة بيانات أولية حول مستويات التلوث المعدني في الدم لدى سكان الجنوب الليبي.

١,٤. أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تحليل كيميائي حيوي مقارن، يربط بين المنشأ البيئي لهذه العناصر في مناطق الدراسة وبين الحالة السريرية للمرضى، مع استقصاء مدى تأثير هذا التلوث المعدني الجغرافي على فاعلية العلاج الكيميائي وزيادة آثاره الجانبية. إن نتائج هذا البحث لا تهدف فقط لتقييم مستويات العناصر، بل تسعى لرسم خارطة طريق لفهم "الأورام البيئية" في الجنوب الليبي، بما يساهم في تطوير بروتوكولات علاجية ووقائية تأخذ بعين الاعتبار الخصوصية البيئية للمنطقة.

قد تتفاعل المعادن التقيلة بشكل متكرر مع الأنظمة البيولوجية عن طريق فقدان الكترون واحد أو أكثر، مما يؤدي إلى تكوين كاتيونات معدنية ذات ألفة قوية للمواقع المحبة للنواة في الجزيئات الكبيرة الحيوية (kozak; 2025)

تهدف هذه الدراسة البحثية والتي استهدفت عدد من امراض السرطان المختلفة بمركز سبها للأورام السرطانية الي تحقيق الأهداف التالية: –

١– تحديد تراكيز بعض العناصر الثقيلة السامة (مثل الرصاص، الكادميوم، الزرنيخ) في عينات الدم البشري. ومقارنتها مع العينات الكنترول الغير مرضية او غير المصابة

٢– تقييم مستوى التلوث البيئي غير المباشر من خلال استخدام الدم كمؤشر حيوي للتعرض للعناصر الثقيلة.

٣– مقارنة تراكيز العناصر الثقيلة المقاسة بالقيم المرجعية العالمية للدم السليم، لتحديد مدى تجاوزها للحدود المسموح بها.

٤– دراسة اختلال توازن بعض العناصر المعدنية الأساسية (مثل الحديد والزنك) وعلاقته بالتعرض البيئي للعناصر الثقيلة.

٥– إبراز العلاقة بين التلوث البيئي المعدني وصحة الإنسان من منظور بيئي وصحي متكامل.

٦– المساهمة في تعزيز الوعي البيئي بأخطار التلوث بالعناصر الثقيلة وضرورة الحد من مصادره.

البعد البيئي للدراسة: يركز هذا البحث على اعتبار الدم مؤشرًا حيويًا للتلوث البيئي، حيث تعكس تراكيز العناصر الثقيلة في الدم مستوى التعرض البيئي طويل الأمد. وتُسهم نتائج الدراسة في: –

١– تقييم مستوى التلوث المعدني في البيئة المحيطة.

٢– دعم برامج الرصد البيئي والصحي.

٣– تعزيز الوعي بأهمية حماية البيئة للحد من المخاطر الصحية.

٢- دراسات سابقة

٢,١. تتلخص النتائج الرئيسية للدراسة المعنونة بـ تقييم مستويات العناصر النادرة والمعادن الثقيلة لدى مرضى سرطان الثدي في محافظة البصرة ، والتي أجراها الباحثون (٢٠٢١ ,Khalaf et al) ، في أن مستويات المعادن الثقيلة السامة مثل الرصاص (Pb)، والكادميوم (Cd)، والزئبق (Hg)، والكروم (Cr) كانت مرتفعة بشكل ملحوظ في الدم والشعر لدى مرضى سرطان الثدي مقارنة بالأفراد الأصحاء وفي المقابل، لم تُظهر مستويات العنصر الأساسي الزنك (Zn) اختلافاً كبيراً بين المجموعتين (3 ppm). وأكدت الدراسة أن تحليل عينات الشعر يعد مؤشراً فعالاً لتراكم هذه المعادن في الجسم على المدى الطويل.

٢,٢. واوضحت نتائج للدراسة البحثية التي أجراها الباحث (Hasan A;2017) (تأثير العلاج الكيميائي على Effect of Chemotherapy on Zn, Fe, Mg, Pb, Ca and Se in the Serum ، مستويات الزنك والحديد والمغنيسيوم والرصاص والكالسيوم والسيلينيوم في مصل الدم)، أن مستويات العناصر النادرة الأساسية مثل الزنك (Zn)، والحديد (Fe)، والمغنيسيوم (Mg)، والسيلينيوم (Se) التي تنخفض في مصل الدم لدى مرضى سرطان الحلق والمعدة والرئة بعد تلقي العلاج الكيميائي (ppm 2, 4). وعلى النقيض من ذلك، كانت مستويات المعدن السام الرصاص (Pb) هي الاستثناء الوحيد الذي لم ينخفض بعد العلاج، بل ارتفع في بعض الحالات (.ppm 2, 4). تشير الدراسة إلى أن هذا التغير في توازن العناصر قد يكون بسبب تأثير العلاج الكيميائي على مقاومة الجسم والأجهزة الهضمية، مما يضعف التفاعلات الكيميائية الحيوية الأساسية، وتؤكد على ضرورة تصميم خطط علاج فردية لكل مريض.

٢,٣. تتلخص النتائج الرئيسية للدراسة البحثية: Toxic Metal and Essential Element Concentrations in the Blood and Tissues of Pancreatic Ductal Adenocarcinoma Patients (تراكيز المعادن السامة والعناصر الأساسية في الدم وأنسجة مرضى سرطان البنكرياس الغدي القنوي)، والتي أجراها الباحثون (Forte. et al (2024; ، في أن هناك خللاً واضحاً في توازن المعادن لدى مرضى سرطان البنكرياس. فقد أظهرت النتائج ارتفاعاً معنوياً في مستويات بعض العناصر السامة مثل الكروم (Cr) والنحاس (Cu) في الدم الكامل للمرضى مقارنة بالأصحاء (pp. 1, 5) كما لوحظ ارتفاع تراكيز عناصر أساسية مثل النحاس (Cu)، والحديد (Fe)، والسيلينيوم (Se)، والزنك (Zn) بشكل ملحوظ داخل الأنسجة السرطانية نفسها مقارنة بالأنسجة السليمة المجاورة (pp. 1, 6). تشير الدراسة إلى أن هذه التغيرات قد تساهم في آليات تطور السرطان، مثل الإجهاد التأكسدي وتلف الحمض النووي، مما يجعل تحليل مستويات هذه المعادن مؤشراً محتملاً لتشخيص ومتابعة أورام البنكرياس (p.1).

٢,٤. وفي دراسة بحثية للباحثين باكير وآخرون (٢٠١٣) والتي أظهرت نتائجها أن العناصر Co و Cr و Sc و Th

أبدت ارتفاعاً ذا مغزى لدى مرضى اللمفوما عموماً بشكل ذي مغزى لذى مرضى اللمفوما عموماً بالمقارنة مع الأشخاص الأصحاء، في حين انخفض تركيز الـ Fe وRb بشكل ذي مغزى لذى مرضى اللمفوما ، أما التغيرا رت (ارتفاعاً أو انخفاضاً) في تركيز العناصر Zn وSe في مرضى اللمفوما عموماً فلم تكن ذات مغزى إحصائي.

يلاحظ من خلال مقارنة ت ا ركيز العناصر النزرة في مرضى اللمفوما من النمط اللاهودجكن مع مجموعة الأشخاص الأصحاء، أن تراكيز العناصر Co و Cr و Sc و Th أبدت ارتفاعاً ذا مغزى إحصائي، في حين أبدى العنصر Rb انخفاضاً ذا مغزى إحصائي، أما التغيرات (ارتفاعاً أو انخفاضاً) في تراكيز باقي العناصر وهي Se, Zn فلم تكن ذات مغزى إحصائي. تتشابه نتائج مرضى اللمفوما من نوع اللاهودجكن عموماً مع نتائج اللمفوما السابقة الذكر عند مقارنتها بمجموعة الشاهد مع ملاحظة انخفاض تركيز الـ Fe لكن لم يكن ذو مغزى إحصائي كما هي الحال في اللمفوما.

أما مقارنة تراكيز العناصر في مرضى اللمفوما من النمط هودجكن مع مجموعة الأشخاص الأصحاء، فقد بينت أن تراكيز العناصر Cr و Sc وTh أبدت ارتفاعاً ذا مغزى إحصائي في حين أبدى العنصران Fe و Rb انخفاضاً ذا مغزى إحصائي، أما باقي العناصر وهيZn, Se فلم تبد أية تغيرارت (ارتفاعاً أو انخفاض اً) ذات مغزى إحصائي. تتشابه هذه النتائج عموماً مع نتائج اللمفوما السابقة الذكر عند مقارنتها بالمجموعة الشاهد مع ملاحظة ارتفاع تركيز الـ Co

لكن لم يكن هذا الارتفاع ذو مغزى إحصائي كما هي الحال في اللمفوما.

٢,٥. الجبوري,,(٢٠١٧): الذي توصل في دراسته البحثية الي ان لا توجد اختلافات ذات دلالة معنوية بين وزن الاطفال الذين يتواجد بدمائهم الرصاص او الكادميوم وبين وزن الاطفال الذين لم يتواجد بدمائهم هذه العناصر كما وجود اختلافات ذات دلالة معنوية بين وزن الاطفال الذين يتواجد بدمهم الزئبق وبين وزن الاطفال الذين لم يتواجد بدمهم الزئبق وكما توصل الي وجود زيادة غير معنوية لمستوى تركيز الرصاص للأمهات التي تتراوح اعمارهن ما بين ٣١ الى ٤٨ مقارنة بالأعمار ١٤ الى ٣٠ سنة

٢,٦. Highlights of Heavy Metals: Molecular Toxicity Mechanisms, Exposure Dynamics, and Environmental Presence , Alum (2023)

وقد تلخص النتائج الرئيسية لهذه الدراسة البحثية للباحثة Alum (2023) الي ان المعادن الثقيلة تشكل خطراً عالمياً كبيراً على البيئة وصحة البشر، حيث اوضحت الدراسة أن التعرض البشري لهذه المعادن عبر مصادر طبيعية وصناعية، مثل الغذاء وبيئات العمل، يؤدي إلى مجموعة متنوعة من الآثار الصحية، أبرزها زيادة معدلات الإصابة بالسرطان والأضرار التي تلحق بالأعضاء على المدى الطويل. (p.1) تشمل آليات السمية تلف الحمض النووي (DNA)، والإجهاد التأكسدي، وتعطيل التنفس الخلوي، وتغير التعبير الجيني. (p.1) وتؤكد الورقة على الحاجة الملحة لاستراتيجيات شاملة

لتقليل التلوث البيئي والتعرض البشري لهذه المعادن بسبب تفاعلاتها المعقدة وآثارها المسرطنة.

٣- المواد والطرق

٣,١. منطقة الدراسة وجمع العينات

جدول (١) يبين بيئة السكن للعينات المدروسة

بيئة السكن للمرضى	عدد
اوباري	٢
براك	٢
تاروت	١
تراغن	١
سبها	١٣
مرزق	١
ونزريك	٢
العدد الكلي	٢٢

الجدول (١) يبين مناطق سكن اصحاب العينة والتي تشمل عينات دم بشرية والتي تمثل: -

١- أفرادًا من مرضى السرطان من مناطق مختلفة.

٢- مجموعة كنترول تمثل أفرادًا الاصحاء (الغير مرضى)

الملاحق: -

١- الجدول (١) يبين الاستبانة الخاصة بالمرضى ، وتحوي العمر والجنس تاريخ التشخيص ونوع التشخيص والمهنة وبيئة السكن ونوع مياه الشرب وتناول المكملات الغذائية تم اختيار العينات بطريقة عشوائية، وتم ذلك حسب تنسيق مركز الأورام سبها في جمع العينات.

٢- تم جمع عينات الدم في أنابيب معقمة وخالية من المعادن لتجنب التلوث العرضي.

٣- حفظت العينات في ظروف تبريد مناسبة الي حين تجهيزها للقياس.

٤- أُجريت عملية هضم رطب للعينات باستخدام أحماض قوية (مثل حمض النيتريك وحمض البيروكلوريك) لتحويل العناصر إلى صورة قابلة للقياس

٣,٢. تحضير العينات بطريقة الهضم الرطب

تم تحضير عينات الدم للتحليل باستخدام طريقة الهضم الرطب اعتمادًا على الأحماض القوية لإزالة المادة العضوية وتحويل العناصر المعدنية إلى صورة قابلة للقياس. حيث أُخذ حجم يتراوح بين 3–2مل من عينة الدم ووُضع في دورق هضم نظيف وخالٍ من المعادن، ثم أُضيف إليه 3مل من حمض النيتريك المركز .(HNO_3) بعد ذلك سُخنت العينة على سخان كهربائي عند درجة حرارة تتراوح بين °80–70م لمدة تقارب 30دقيقة، وذلك إلى أن تتوقف عملية تكون الرغوة وانبعاث الغازات البنية، ثم تُرك المحلول ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة.

ثم، أُضيف 1 مل من حمض البيركلوريك ($HClO_4$)إلى العينة، وأُعيد التسخين مع رفع درجة الحرارة تدريجيًا حتى حوالي °150م، مع الاستمرار في التسخين إلى أن يصبح المحلول شفافًا أو ذا لون أصفر باهت، ويُختزل حجم المحلول داخل دورق الهضم إلى حوالي 1.5–1مل، مما يدل على اكتمال عملية الهضم.

بعد انتهاء الهضم، تُركت العينة لتبرد، ثم تم ترشيح المحلول ونقله إلى دورق قياسي سعة ١٠ مل، واستُكمل الحجم

بإضافة الماء المقطر للحصول على محلول جاهز للتحليل باستخدام جهاز الامتصاص الذري.

وقد أُجريت جميع خطوات التحضير من مواد عالية النقاوة لتجنب التلوث وضمان دقة النتائج ، حسب ما ورد في: (محمود وعبد الهلالي, ٢٠١٨) ، تم قياس تراكيز العناصر الثقيلة باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectrophotometer – AAS)

٣,٣.الاستبانة الخاصة بالبيانات حول المرضى والمدرجة في الملاحق

استخدمت الاستبانة والموضحة بالجدول (٨) في الملاحق والتي تمت ملائها من قبل المرضي بمعرفة وتنسيق مركز الأورام سبها وقد شملت كل العينات التي استهدفت بالدراسة البحثية.

٤– النتائج والمناقشة

٤,١. مناقشة نتائج تركيز العناصر الثقيلة السامة في عينات الدم المدروسة للمرضى

يؤدي التراكم الحيوي لهذه المعادن الثقيلة إلى مجموعة متنوعة من التأثيرات السامة على أنسجة وأعضاء الجسم المختلفة. تُعطّل المعادن الثقيلة العمليات الخلوية، بما في ذلك النمو والتكاثر والتمايز وعمليات إصلاح الضرر والاستماتة الخلوية. تكشف مقارنة آليات العمل عن مسارات متشابهة لهذه المعادن لإحداث السمية، بما في ذلك توليد أنواع الأكسجين التفاعلية، وإضعاف الدفاعات المضادة للأكسدة، وتعطيل الإنزيمات، والإجهاد التأكسدي ، (Balali, et al.,2021) ، وسوف يتم مناقشة ومقارنة نتائج هذه الدراسة البحثية وفقاً لما ورد في (Nguyen et al., 2026) ، والمعهد الوطني للصحة الأمريكي (NIH) والموضحة بالجداول التالية:

جدول (٢) القيم المرجعية للعناصر السامة في الدم لدى الأصحاء

العنصر	الحد الطبيعي في الدم السليم (mg/L)
الزرنيخ (As)	0.0083
الكادميوم (Cd)	0.0026
الرصاص (Pb)	0.0508

المصدر: Nguyen et al., 2026

جدول (٣) القيم المرجعية للعناصر الأساسية في الدم لدى الأصحاء

العنصر	الحد الطبيعي في الدم السليم (mg/L)
الحديد (Fe)	1.70 – 0.60
الزنك (Zn)	1.20 – 0.70

المصدر: (المعهد الوطني للصحة الأمريكي(NIH))

المصدر

٤ .١,١ مناقشة نتائج العناصر الثقيلة السامة (As, Cd, Pb)

١– الزرنيخ(As)

أظهرت نتائج جدول (٤) أن تركيز الزرنيخ في عينات المرضى تراوح بين دون حدود الكشف (nd) و 0.486 mg/L، مع تسجيل قيم مرتفعة نسبيًا لدى بعض المرضى مثل العينة رقم (١١) و(١٩) و(٢١)، في حين لوحظ أن عددًا كبيرًا من العينات كان تركيز الزرنيخ فيها دون حدود الكشف ، مما يشير إلى تباين واضح في التعرض لهذا العنصر بين المرضى.

وبالمقارنة مع مجموعة الكنترول جدول(٦)، تبين أن تراكيز الزرنيخ لدى الأفراد الأصحاء تراوحت بين nd و 0.374 mg/L، وهو ما يدل على أن التعرض البيئي للزرنيخ موجود لدى المجموعتين، إلا أن قيم الذروة كانت أعلى لدى مجموعة المرضى، الأمر الذي قد يشير إلى علاقة محتملة بين تراكم الزرنيخ وحدوث أو تطور المرض السرطاني ، وعلميًا، يعد الزرنيخ من العناصر المسرطنة المؤكدة، حيث يرتبط بالتأثيرات السمية الخلوية، وزيادة الإجهاد التأكسدي، واضطراب آليات إصلاح الDNA، وهي آليات تلعب دورًا أساسيًا في نشوء الأورام.

٢ – الكادميوم(Cd)

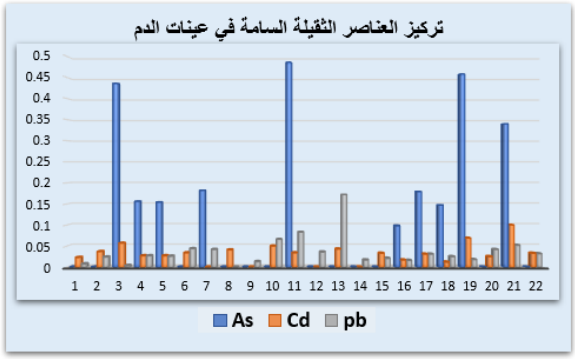
بيّنت نتائج المرضى أن تركيز الكادميوم تراوح بين nd – 0.100 mg/L، مع تسجيل أعلى قيمة في العينة رقم (٢١). أما مجموعة الكنترول فقد تراوحت القيم بين nd – 0.210 mg/L، مع تسجيل أعلى تركيز في العينة رقم (1) ،وبالرغم أن بعض قيم الكنترول كانت مرتفعة، إلا أن الانتشار الأكبر لتركيزات الكادميوم القابلة للقياس ظهر في مجموعة المرضى، مما يعكس احتمال التعرض المزمن لهذا العنصر لدى المرضى. ويُعرف الكادميوم بدوره في تحفيز تكوين الجذور الحرة والتأثير على الجهاز المناعي وتغيير التعبير الجيني، وهي عوامل ترتبط بتطور الخلايا السرطانية.

٣ – الرصاص(Pb)

سُجلت تراكيز الرصاص في عينات المرضى بين nd – 0.172 mg/L، مع تسجيل قيم مرتفعة في بعض العينات مثل العينة رقم (١٣) و(١١) و.(21) ، أما مجموعة الكنترول فقد تراوحت القيم بين nd – 0.068 mg/L. ، ويلاحظ أن الحد الأقصى لتركيز الرصاص في مجموعة المرضى يفوق بوضوح نظيره في الكنترول، مما يشير إلى احتمال مساهمة الرصاص في التأثيرات السمية المزمنة لدى مرضى السرطان، حيث يُعد الرصاص من العناصر ذات التأثير المثبط للإنزيمات الخلوية والمحفز للإجهاد التأكسدي.

جدول (٤) يبين تراكيز العناصر الثقيلة السامة في عينات الدم المدروسة للمرضى

العينة	As	Cd	Pb	العينة	As	Cd	Pb
١	Nd	٠,٠٢٣	٠,٠٠٧٦	١٢	Nd	Nd	٠,٠٣٦
٢	Nd	٠,٠٣٧	٠,٠٢٤	١٣	Nd	٠,٠٤٣	٠,١٧٢
٣	٠,٤٣٦	٠,٠٥٧	٠,٠٠٣٧	١٤	Nd	Nd	٠,٠١٧
٤	٠,١٥٦	٠,٠٢٧	٠,٠٢٧	١٥	Nd	٠,٠٣٣	٠,٠٢١
٥	٠,١٥٤	٠,٠٢٧	٠,٠٢٦	١٦	٠,٠٩٨	٠,٠١٧	٠,٠١٦
٦	Nd	٠,٠٣٤	٠,٠٤٤	١٧	٠,١٧٩	٠,٠٣١	٠,٠٣١
٧	٠,١٨٢	Nd	٠,٠٤٢	١٨	٠,١٤٧	٠,٠١٢	٠,٠٢٥
٨	Nd	٠,٠٤١	Nd	١٩	٠,٤٥٨	٠,٠٦٩	٠,٠١٨
٩	Nd	Nd	٠,٠١٣	٢٠	Nd	٠,٠٢٥	٠,٠٤٢
١٠	Nd	٠,٠٥٠	٠,٠٦٦	٢١	٠,٣٤٠	٠,١٠٠	٠,٠٥٢
١١	٠,٤٨٦	٠,٠٣٤	٠,٠٨٣	٢٢	Nd	٠,٠٣٣	٠,٠٣٢



الشكل البياني (١) يبين تركيز العناصر الثقيلة السامة في دم المرضى

١,٢. ٤. مناقشة نتائج العناصر الأساسية (Fe, Zn)

توصلت هذه الدراسة البحثية قيم لتراكيز كلا من الحديد والزنك في عينات المرضى المدروسة والجدول (٥) يبين ذاك بالإضافة الي الشكل (.....) الذي يبين التمثيل البياني لهذه التراكيز.

٣- عنصر الحديد(Fe)

فقد تراوحت تراكيز الحديد لدى المرضى بين 0.090 – 1.112 mg/L، في حين تراوحت في مجموعة الكنترول بين 0.170 – 0.829 mg/L. ، ويلاحظ وجود قيم مرتفعة نسبيًا للحديد في بعض عينات المرضى مقارنة بالكنترول، وهو ما يمكن تفسيره باضطراب استقلاب الحديد المصاحب للأورام السرطانية، حيث تميل الخلايا السرطانية إلى استهلاك الحديد بشكل أكبر لدعم الانقسام الخلوي السريع، كما يؤدي تراكم الحديد إلى زيادة تكوين الجذور الحرة وتلف الخلايا.

٤- عنصر الزنك(Zn)

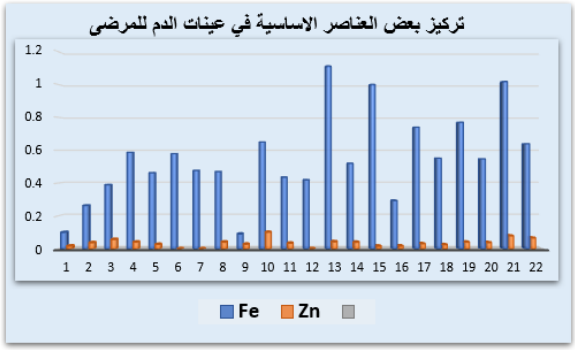
اما بالنسبة لقيم تراكيز الزنك فقد أظهرت النتائج انخفاضًا نسبيًا في تركيز الزنك في عينات المرضى، حيث تراوح بين (nd – 0.101 mg/L)، مقارنة بنتائج عينات الكنترول (الاصحاء) التي تراوحت بين (nd – 0.086 mg/L) مع ملاحظة وجود استقرار نسبي في التراكيز لهذه العينات.

ويعد الزنك عنصرًا أساسيًا في دعم المناعة وتنظيم نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وبالتالي فإن نقص الزنك لدى المرضى قد يساهم في إضعاف المناعة الخلوية وزيادة قابلية الخلايا للتلف والتحول السرطاني.

وتتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات السابقة التي أكدت الدور المهم للعناصر الثقيلة في تحفيز الإجهاد التأكسدي، وإحداث الطفرات الجينية، وتسريع تطور الخلايا السرطانية.

جدول (٥) تركيز بعض العناصر المعدنية الاساسية (Fe , Zn) في عينات الدم المدروسة للمرضى

العينة	Fe	Zn	العينة	Fe	Zn
١	٠,١٠٠	٠,٠١٧	١٢	٠,٤١٩	Nd
٢	٠,٢٦٣	٠,٠٣٧	١٣	١,١١٢	٠,٠٤٣
٣	٠,٣٨٩	٠,٠٥٧	١٤	٠,٥٢٠	٠,٠٤٠
٤	٠,٥٨٧	٠,٠٤١	١٥	١,٠٠٠	٠,٠١٦
٥	٠,٤٦٢	٠,٠٢٧	١٦	٠,٢٩٣	٠,٠١٧
٦	٠,٥٧٩	Nd	١٧	٠,٧٤٠	٠,٠٣١
٧	٠,٤٧٦	Nd	١٨	٠,٥٥١	٠,٠٢٥
٨	٠,٤٦٩	٠,٠٤١	١٩	٠,٧٧٠	٠,٠٤١
٩	٠,٠٩٠	٠,٠٢٨	٢٠	٠,٥٤٧	٠,٠٣٨
١٠	٠,٦٥	٠,١٠١	٢١	١,٠١٨	٠,٠٧٩
١١	٠,٤٣٥	٠,٠٣٤	٢٢	٠,٦٣٩	٠,٠٦٦



الشكل البياني (٢) يبين تركيز العناصر الأساسية في دم المرضى

٤,٢. مناقشة نتائج تركيز العناصر الثقيلة والعناصر الأساسية في عينات الدم الكنترول (الاصحاء)

٤,٢,١. مناقشة نتائج العناصر المعدنية السامة (As, Cd, Pb) في عينات الكنترول (الاصحاء)

يبين جدول (6) تراكيز العناصر المعدنية السامة (الزرنيخAs ، الكادميومCd ، والرصاص (Pb في عينات الدم لمجموعة الكنترول (الأفراد الأصحاء): –

لوحظ أن تراكيز الزرنيخ في معظم عينات الكنترول تراوحت بين(0.201–0.374 ppm) ، مع تسجيل قيمة منخفضة جدًا في إحدى العينات(0.0004 ppm) ، في حين لم يُرصد الزرنيخ في عينة واحدة .(nd) وتشير هذه النتائج إلى وجود تعرض بيئي متفاوت للزرنيخ حتى لدى الأفراد غير المصابين، وهو ما قد يُعزى إلى مصادر بيئية مثل مياه الشرب أو التربة أو السلسلة الغذائية.

أما الكادميوم، فقد تراوحت تراكيزه في عينات الكنترول بين(0.011–0.210 ppm) ، مع تسجيل عدم الكشف عنه في عينة واحدة. وتُعد هذه القيم مرتفعة نسبيًا مقارنة بالحدود المرجعية الطبيعية، مما يشير إلى تعرض مزمن منخفض الشدة للكادميوم، قد يكون ناتجًا عن عوامل بيئية مثل التلوث الصناعي أو استخدام الأسمدة أو التدخين السلبي.

فيما يخص الرصاص، فقد تراوحت تراكيزه بين (0.026–0.068 mg/L)، مع عدم الكشف عنه في بعض العينات. وتُظهر هذه النتائج أن الرصاص ما يزال حاضرًا في البيئة المحيطة حتى لدى الأفراد الأصحاء، وهو ما يتماشى مع ما أشارت إليه دراسات بيئية عديدة حول الانتشار الواسع للرصاص في المناطق ذات البنية التحتية القديمة أو القريبة من مصادر التلوث.

٤,٢,٢. مناقشة نتائج بعض العناصر الأساسية (Zn , Fe) في عينات الكنترول (الاصحاء)

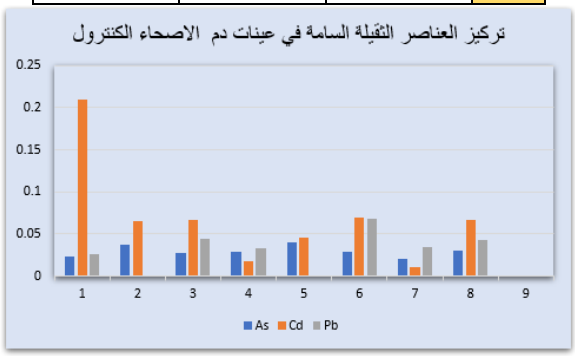
يوضح جدول (7) تراكيز العناصر بعض المعدنية الأساسية الحديد Fe والزنك Zn في عينات الدم لمجموعة الكنترول تراوحت تراكيز الحديد بين 0.829–0.170) (mg/L، حيث وقعت معظم القيم ضمن المدى المرجعي الطبيعي، مما يدل على حالة تغذوية ووظيفية مقبولة لدى غالبية الأفراد الأصحاء، مع تسجيل بعض القيم المنخفضة التي قد تشير إلى نقص غذائي بسيط أو اختلافات فسيولوجية فردية.

أما الزنك، فقد تراوحت تراكيزه بين–0.026) 0.086 mg/L)، مع عدم الكشف عنه في إحدى العينات. وتشير هذه النتائج إلى تباين واضح في مستويات الزنك، وقد يعزى ذلك إلى اختلاف العادات الغذائية أو الامتصاص الحيوي، علمًا بأن الزنك يُعد من العناصر الأساسية المرتبطة بالمناعة ومضادات الأكسدة.

* عينات الكنترول الاصحاء (الغير مرضية)

جدول (٦) يبين تركيز العناصر المعدنية السامة في عينات الدم المدروسة الكنترول

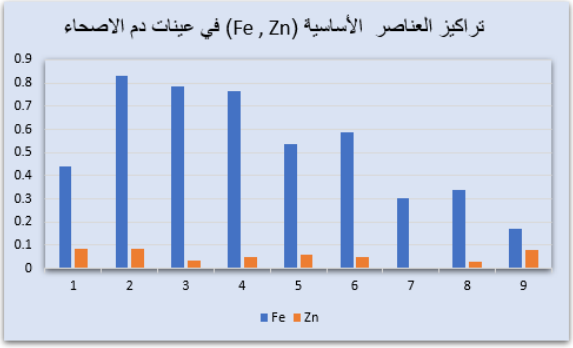
العينة	As	Cd	Pb
١	٠,٠٢٣	٠,٢١٠	٠,٠٢٦
٢	٠,٠٣٧	٠,٠٦٥	Nd
٣	٠,٠٢٨	٠,٠٦٧	٠,٠٤٤
٤	٠,٠٢٩	٠,٠١٧	٠,٠٣٣
٥	٠,٠٤٠	٠,٠٤٦	Nd
٦	٠,٠٢٩	٠,٠٦٩	٠,٠٦٨
٧	٠,٠٢٠	٠,٠١١	٠,٠٣٤
٨	٠,٠٣٠	٠,٠٦٧	٠,٠٤٣
٩	Nd	Nd	Nd



الشكل البياني (٣) يبين تراكيز العناصر الثقيلة السامة في دم الاصحاء الكنترول

جدول (٧) يبين تراكيز العناصر المعدنية الأساسية (Fe , Zn) في عينات دم الاصحاء الكنترول

العينة	Fe	Zn
١	٠,٤٤١	٠,٠٨٣
٢	٠,٨٢٩	٠,٠٨٦
٣	٠,٧٨٤	٠,٠٣٣
٤	٠,٧٦٥	٠,٠٥١
٥	٠,٥٣٥	٠,٠٥٧
٦	٠,٥٨٩	٠,٠٥١
٧	٠,٣٠١	Nd
٨	٠,٣٤٠	٠,٠٢٦
٩	٠,١٧٠	٠,٠٨٠



الشكل البياني (٤) يبين تراكيز العناصر الاساسية في دم الاصحاء الكنترول

٤,٣ . المقارنة بين نتائج الكنترول ونتائج العينات المرضية

عند مقارنة نتائج مجموعة الكنترول بنتائج عينات المرضى، لوحظ ما يلي: –

١– سجّلت عينات المرضى تراكيز أعلى وتكرارًا أكبر لظهور العناصر المعدنية السامة، خاصة الزرنيخ والكادميوم والرصاص،

مقارنة بمجموعة الكنترول، مما يشير إلى وجود عبء معدني أعلى لدى المرضى.

٢-على الرغم من وجود تراكيز ملحوظة للعناصر السامة في عينات الكنترول، إلا أن القيم لدى المرضى كانت أكثر ارتفاعًا وانتشارًا، وهو ما قد يعكس تراكُم هذه العناصر في الجسم على المدى الطويل ودورها المحتمل في التأثير على العمليات الخلوية.

٣-فيما يخص العناصر الأساسية، أظهرت عينات المرضى اختلالًا أو تذبذبًا في تراكيز الحديد والزنك مقارنة بالكنترول، حيث لوحظ انخفاض نسبي في بعض الحالات المرضية، الأمر الذي قد يرتبط بتأثير المرض نفسه أو بالعلاج الكيميائي الذي يؤثر على امتصاص وتوزيع هذه العناصر.

وعند تحليل نتائج هذه الدراسة وربطها بالتأثيرات المعروفة للعلاج الكيمياوي، يتضح وجود توافق واضح بين القيم المقاسة والتغيرات الفسيولوجية المتوقعة لدى مرضى السرطان الخاضعين للعلاج فقد أظهرت بيانات المرضى ارتفاعًا ملحوظًا في تراكيز العناصر السامة مقارنة بمجموعة الكنترول، حيث بلغت أعلى قيمة للزرنيخ في عينات المرضى 0.486 mg/L (العينة ١١) مقابل 0.374 mg/L في مجموعة الكنترول، كما بلغ تركيز الرصاص لدى المرضى 0.172 mg/L (العينة ١٣) مقارنة بأقصى قيمة 0.068 mg/Lلدى الأصحاء، في حين سجل الكادميوم لدى المرضى 0.100 mg/L (العينة ٢١)، وهي قيم تعكس عبئًا سمّيًا أكبر لدى المرضى.

وفيما يتعلق بالعناصر الأساسية، أظهرت النتائج ارتفاعًا واضحًا في تركيز الحديد لدى المرضى، حيث وصلت بعض القيم إلى 1.112 mg/Lو 1.018 mg/Lمقارنة بأعلى قيمة في مجموعة الكنترول بلغت 0.829 mg/L، وهو ما ينسجم مع الاضطرابات الاستقلابية المرتبطة بالعلاج الكيمياوي التي تؤدي إلى زيادة الحديد الحر في الدم نتيجة تحلل الخلايا وزيادة الالتهاب العام. وفي المقابل، لوحظ انخفاض نسبي في تركيز الزنك لدى المرضى، حيث سُجلت قيم غير مكتشفة في عدد من العينات مقابل استقرار نسبي أعلى في مجموعة الكنترول، مما يدعم فرضية أن العلاج الكيمياوي يسبب تثبيط امتصاص الزنك وزيادة فقدانه من الجسم.

وعليه، فإن التغيرات في قيم التركيز المسجلة في هذه الدراسة تعكس بصورة واضحة التأثير المركب للعلاج الكيمياوي، المتمثل في زيادة العبء المعدني السام واختلال توازن العناصر الأساسية، وهو ما قد يسهم في تفاقم الإجهاد التأكسدي وضعف المناعة الخلوية لدى مرضى السرطان (Coradduzza,et al.,2024) ، و (٢٠٢٥; Kozak, J)، وعند مقارنة نتائج تراكيز العناصر المعدنية المقاسة في عينات الدم مع القيم المرجعية الطبيعية للإنسان السليم، كما هو موضح في الجدول (٨)، لوحظ وجود انحرافات واضحة في معظم عينات مرضى السرطان عن الحدود المقبولة للعناصر السامة والعناصر الأساسية ، وقد بينت النتائج تجاوزًا ملحوظًا للحدود الطبيعية لعناصر الزرنيخ والكادميوم والرصاص في عدد كبير من عينات المرضى، مما يشير إلى عبء سمّي مرتفع. كما أظهرت النتائج اضطرابًا في توازن العناصر الأساسية، تمثل في ارتفاع بعض تراكيز الحديد عن المجال المرجعي الطبيعي وانخفاض واضح في تركيز الزنك في معظم عينات المرضى، وهو

ما يعكس خللًا استقلابيًا مرتبطًا بالحالة المرضية والعلاج الكيمياوي.

٤,٤. الرابط البيئي والصحي

تشير نتائج مجموعة الكنترول إلى أن التعرض البيئي للعناصر المعدنية السامة موجود حتى لدى الأفراد الأصحاء، إلا أن الارتفاع النسبي لهذه العناصر لدى المرضى يعزز الفرضية القائلة بأن التعرض البيئي المزمن للمعادن الثقيلة قد يكون أحد العوامل المساهمة في زيادة مخاطر الإصابة بالأمراض السرطانية، خاصة عند تزامنه مع ضعف التوازن في العناصر الأساسية الضرورية لعمل الإنزيمات ومضادات الأكسدة ، وتوضح نتائج هذه الدراسة أن التلوث المعدني لا يقتصر على المرضى فقط، بل يشمل البيئة المحيطة بشكل عام، إلا أن ارتفاع تراكيز العناصر السامة واختلال العناصر الأساسية لدى المرضى مقارنة بالكنترول يدعم وجود علاقة محتملة بين التعرض البيئي للعناصر الثقيلة والحالة المرضية.

جدول (٨) مقارنة نتائج الدراسة مع القيم المرجعية الطبيعية للدم السليم

التفسير العلمي	مدى الكنترول (mg/L)	مدى نتائج المرضى (mg/L)	الحد المرجعي (mg/L)	العنصر
ارتفاع خطير لدى المرضى	nd – 0.374	nd – 0.486	0.0083	As
تعرض بيئي/علاجي مزمن	nd – 0.210	nd – 0.100	0.0026	Cd
عبئ سمّي مرتفع	nd – 0.068	nd – 0.172	0.0508	Pb
اضطراب استقلابي	0.170 – 0.829	0.090 – 1.112	0.60 – 1.70	Fe
نقص واضح يؤثر على المناعة	nd – 0.086	nd – 0.101	0.70 – 1.20	Zn

ومن خلال هذه النتائج نلاحظ: –

١– ارتفاع نسبي في تراكيز العناصر السامة (As, Cd, Pb) في عينات مرضى السرطان مقارنة بمجموعة الكنترول.

٢– اختلال في توازن العناصر الأساسية، يتمثل في ارتفاع الحديد وانخفاض الزنك لدى المرضى.

وتتوافق نتائج الدراسة الحالية مع مجموعة كبيرة من الأدبيات العلمية التي أظهرت وجود علاقة واضحة بين تركيزات المعادن الثقيلة في الدم والتعرض البيئي أو المرضي لدى مرضى السرطان .ففي مراجعة منهجية حديثة أُجريت على مستويات المعادن الثقيلة في عينات بيولوجية لمرضى السرطان، تبين أن عناصر مثل الزرنيخ(As) ، الكادميوم(Cd) ، والرصاص (Pb)تُعد من المعادن المرتبطة بزيادة خطر الإصابة بالأورام والتأثيرات السريرية للمرض، مع ارتفاع مستوياتها في المرضى مقارنة بالأصحاء في العديد من الدراسات المنشورة عالميًا .

كما أظهرت تحليلات متعددة أن تركيزات Cd و Pb و As في الدم لدى مرضى سرطان الثدي والأنواع الأخرى تكون أعلى بشكل ملحوظ مقارنة بالمجموعات الضابطة، بينما يكون تركيز الزنك عادة أقل، وهو ما يتوافق مع بيانات الدراسة الحالية التي أظهرت ارتفاع الحديد وانخفاض الزنك لدى المرضى .

بالإضافة إلى ذلك، تشير الأدبيات إلى أن التعرض المزمن للمعادن الثقيلة يمكن أن يحفز الإجهاد التأكسدي ويؤثر على آليات إصلاح الـ DNA ويضعف الدفاعات المضادة للأكسدة، مما يدعم دور هذه العناصر في عمليات التسرطن والتقدم المرضي. وهذا يتماشى مع الإطار النظري الذي فسّر به ارتفاع تركيزات المعادن السامة في مرضى السرطان في دراستك .

أما فيما يتعلق بالعناصر الأساسية، فقد بينت دراسات أخرى أن اختلال مستويات الحديد والزنك يمكن أن يعكس تأثيرات الالتهاب المزمن والاستقلاب المضطرب لدى المرضى، حيث يرتبط ارتفاع الحديد بالإجهاد التأكسدي، في حين يؤثر نقص الزنك سلبًا على المناعة والاستجابة العلاجية

٥- الاستنتاجات والتوصيات

ومن خلال هذه النتائج لهذه الدراسة البحثية نستنتج الآتي: -

١-أثبتت الدراسة أن تراكيز العناصر السامة في دم مرضى السرطان تتجاوز بشكل ملحوظ القيم المرجعية الطبيعية، مما يدل على عبء سمّي قد يسهم في نشوء وتطور المرض.

٢-بينت المقارنة المرجعية وجود اختلال واضح في توازن العناصر الأساسية لدى المرضى، يتمثل في ارتفاع غير منتظم في الحديد وانخفاض حاد في الزنك.

٣-يعكس هذا الخلل المعدني التأثير المشترك لكل من المرض السرطاني والعلاج الكيمياوي على العمليات الاستقلابية ووظائف الأعضاء المسؤولة عن إزالة السموم.

٤-تؤكد النتائج أهمية اعتماد تحليل العناصر المعدنية ضمن الفحوص الدورية لمرضى السرطان لما له من دور تشخيصي وتنبؤي مهم.

٥-تعزز هذه النتائج الفرضية القائلة بأن العوامل البيئية والعلاجية تشكل عناصر مساعدة في تفاقم العبء السمي والخلل الاستقلابي لدى مرضى السرطان.

*** التوصيات**

١-ضرورة إجراء فحوص دورية لتركيز العناصر الثقيلة في دم المرضى، وخاصة مرضى الأورام، ضمن برامج المتابعة الطبية.

٢-توعية المجتمع بمصادر التعرض للعناصر السامة، خاصة من خلال الغذاء والماء والهواء، والعمل على تقليل مصادر التلوث البيئي.

٣-إدراج تحليل العناصر المعدنية ضمن الفحوص المخبرية الروتينية لمرضى السرطان لما له من دور في تقييم الحالة الصحية العامة للمريض.

٤-الاهتمام بتعويض نقص العناصر الأساسية مثل الزنك من خلال التغذية العلاجية أو المكملات الغذائية تحت إشراف طبي

٥-تشجيع إجراء دراسات مستقبلية على عينات أكبر مع تحديد أنواع السرطان ومراحل المرض للحصول على نتائج أكثر دقة وشمولية.

٦-تفعيل التوعية الصحية والتغذوية لمرضى السرطان حول أهمية التغذية المتوازنة والدعم الغذائي أثناء العلاج.

٧-تحليل جودة مياه الشرب في مناطق الدراسة للتأكد من خلوها من الملوثات الكيميائية والمعادن الثقيلة التي قد تسهم في زيادة خطر الإصابة بالسرطان.

٨-إنشاء قاعدة بيانات محلية للأورام تساعد في متابعة أنماط الإصابة ووضع سياسات صحية وقائية فعالة

*** المراجع**

اولاً- المراجع العربية

محمود، إيمان سالم، وعبد الهلالي، لؤي.(2018): دراسة مستويات المعادن الثقيلة والأساسية في السائل الأمنيوني لدى الحوامل المترافقة مع ارتفاع ضغط الدم – جامعة الموصل – العراق

محمد عبد عواد الجبوري (٢٠١٧): قياس بعض المعادن الثقيلة في دم الحبل السري للأطفال حديثي الولادة وأمهاتهم – كلية العلوم/علوم الحياة – جامعة القادسية – العراق.

الدكتور محمد عادل باكير , أحمد سرحيل ,علي محمد ,خزامى هابيل، (٢٠١٣): توزع بعض العناصر النزرة في الدم الكلي لدى مرضى مصابين باللمفومات في سوريا باستعمال تقنية التحليل بالتنشيط النتروني – هيئة الطاقة الذرية – الجمهورية العربية السورية

ثانياً- المراجع الأجنبية

Abdulhaleem Khalaf, E., Abduljaleel, S. A., & Majid Al-Jassani, H. (2021). Appraisal of Trace Elements and Heavy Metals Levels in Breast Cancer Patients of Basrah Province. Toxicology International, 28(2), 127–134.

Abdulhaleem Khalaf, E., & Abduljaleel, S. A. (2018). The Impact of Chemotherapy on the Levels of Essential and Toxic Elements in the Serum of Breast Cancer Patients. Journal of Clinical & Cellular Immunology, 9(5), 562. doi.org

Alum, E. U. (2023);Highlights of heavy metals: Molecular toxicity mechanisms, exposure dynamics, and environmental presence. IAA Journal of Applied Sciences, 10(3), 8–19.

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.

Coradduzza, D., Congiargiu, A., Azara, E., Mammani, I. M. A.,

De Miglio, M. R., Zinellu, A., Carru, C., & Medici, S. (2024) :Heavy metals in biological samples of cancer patients: A systematic literature review. Biometals.

Forte, G., Pisano, A., Bocca, B., Fenu, G., Farace, C., Etzi, F., Perra, T., Sabalic, A., Porcu, A., & Madeddu, R. (n.d.).(2024);Toxic metal and essential element concentrations in the blood and tissues of pancreatic ductal adenocarcinoma patients.

Kozak, J. (2025); The role of heavy metals in the biology of female cancers. International Journal of Molecular Sciences, 26(11), 5155.

Nguyen, S. D., Nguyen, V. T., Nguyen, S. V., Ta, B. T., Mai, T. P. P., Vu, A. P., et al. (2026). Reference values for lead, cadmium, mercury, arsenic, manganese, and tin in blood of the general adult population of Vietnam. International Journal of Environmental Health Research, 36(5), 775–787.