

EVALUATION OF CONCENTRATIONS OF SOME HEAVY METALS IN WASTEWATER FROM AL-HAWIJA HOSPITAL AND THE EFFICIENCY OF YELLOW CORN PLANTS IN TREATING IT

Kamel Khalaf Hassan¹

1, Hawija Education Department, General Directorate of Kirkuk Education

Email: kkhlf1359@gmail.com

Moafaq Anhab Saleh²

2, Department of Biology, College of Education for Pure Sciences, Tikrit University

Article history:	Abstract:
<p>Received: 20th January 2024 Accepted: 14th March 2024</p>	<p>The current study was conducted in the Department of Life Sciences, College of Pure Sciences Education, University of Tikrit, during the years 2022-2023, to assess the quality and treatment of wastewater discharged from Al-Hawija General Hospital, located in Al-Hawija city, 60 km west of Kirkuk city, northern Iraq. The study included evaluating levels of some heavy metals in the hospital wastewater at four stations over five months, starting from November 2022 to March 2023. Additionally, the study involved the biological treatment of hospital wastewater by assessing the efficiency of yellow corn plants irrigated with this water in absorbing and accumulating heavy metals. Laboratory tests were conducted in the laboratories of the Department of Life Sciences, College of Pure Sciences Education, and the College of Engineering, University of Tikrit. The results were as follows: The pollution assessment results indicated that the agricultural role site and the month of November, and the interaction between them, recorded the highest concentrations for copper, iron, and cadmium. The concentrations of copper were 0.752, 0.571, and 0.924 parts per million (ppm) respectively, iron concentrations were 1.296, 1.109, and 1.485 ppm respectively, and cadmium concentrations were 0.143, 0.113, and 0.164 ppm respectively. As for lead, its highest concentrations were 0.346, 0.357, and 0.514 ppm at the hospital site, the month of November, and their interaction, respectively. For zinc, the highest values were recorded at the nursery site, the month of November, and the interaction between the agricultural role site and the month of November, reaching 1.450, 1.311, and 1.622 ppm respectively. The biological treatment results revealed that the second field of corn plants recorded the highest concentrations of iron, zinc, chromium, and lead, with values of 425, 27.8, 7.1, and 3.1 ppm respectively. This was followed by the fourth field of plants with concentrations of 425 and 1.5 ppm for iron and cadmium, while the third field of plants recorded the highest concentration of copper at 10.4 ppm.</p>

Keywords: Hospital wastewater, Heavy metal pollution, Biological treatment

تقييم تراكيز بعض العناصر الثقيلة في المياه العادمة لمستشفى الحويجة وكفاءة نباتات الذرة الصفراء في معالجتها
كامل خلف حسن¹ موفيق انهاب صالح²
1، قسم تربية الحويجة، المديرية العامة لتربية كركوك، وزارة التربية، العراق
2، قسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، العراق

الخلاصة: نفذت الدراسة الحالية في قسم علوم الحياة/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة تكريت، خلال العامين 2022-2023، لتقييم نوعية ومعالجة المياه العادمة الصادرة عن مستشفى الحويجة العام، في مدينة الحويجة، 60 كم غرب مدينة كركوك، شمال العراق، إذ تضمنت الدراسة تقييم مستويات بعض العناصر الثقيلة في المياه العادمة للمستشفى عند أربعة محطات وخلال خمسة اشهر، بداية من شهر تشرين الثاني-2022 ولغاية آذار-2023، كما تضمنت الدراسة معالجة المياه العادمة للمستشفى حيويًا من خلال تقييم كفاءة نباتات الذرة الصفراء المروية بهذه المياه في امتصاص وتجميع العناصر الثقيلة. اجريت الفحوصات المخبرية في مختبرات قسم علوم الحياة/ كلية التربية للعلوم الصرفة ومختبرات كلية الهندسة/ جامعة تكريت. وكانت النتائج كما يلي: أظهرت نتائج

تقييم التلوث بالعناصر الثقيلة أن موقع دور الزراعة وشهر تشرين الثاني والتداخل بينهما سجل أعلى التراكم لعناصر النحاس والحديد والكاديوم، إذ بلغت تراكم النحاس 0.752 و0.571 و0.924 جزء بالمليون على التوالي، وتراكم عنصر الحديد 1.296 و1.109 و1.485 جزء بالمليون على التوالي، وتراكم عنصر الكاديوم 0.143 و0.113 و0.164 جزء بالمليون على التوالي. أما عنصر الرصاص فقد بلغت أعلى تراكمه 0.346 و0.357 و0.514 جزء بالمليون عند موقع المستشفى وشهر تشرين الثاني والتداخل بينهما. لعنصر الزنك سجلت معدلات موقع البستنة وشهر تشرين الثاني والتداخل بين موقع دور الزراعة وشهر تشرين الثاني أعلى القيم والتي بلغت 1.450 و1.311 و1.622 جزء بالمليون على التوالي. كشفت نتائج المعالجة الحيوية أن الحقل نباتات الحقل الثاني سجلت أعلى التراكم لعناصر الحديد والزنك والكروم والرصاص بقيم بلغت 425 و7.1 و3.1 جزء بالمليون على التوالي، يليه نباتات الحقل الرابع بتراكم بلغت 425 و1.5 جزء بالمليون لعنصر الحديد والكاديوم، فيما سجلت نباتات الحقل الثالث أعلى تركيز لعنصر النحاس بلغ 10.4 جزء بالمليون.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة للمستشفى، التلوث بالعناصر الثقيلة، المعالجة الحيوية

المقدمة

يعد الماء أحد العناصر الأساسية للحياة على الأرض، وفي كثير من الأحيان، في أجزاء كثيرة من العالم، يتم تطوير المياه باعتبارها أصلًا اقتصاديًا واجتماعيًا (Karimi-Maleh et al., 2020). يمثل الماء العذب ما نسبته 2.5% تقريبًا من إجمالي محتوى الماء في العالم والذي يبلغ 71% من الكرة الأرضية، وتعد المياه العذبة ضرورية للحفاظ على الحياة والبيئة، فيما تعد الأنهار والبحيرات والبرك والمياه الجوفية والجداول بعضًا من موارد المياه العذبة (Xu et al., 2020).

وفقًا لتقرير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة FAO (2007)، فإن حوالي 1.8 مليار شخص سيتعرضون إلى ندرة المياه المطلقة، ويمكن أن يكون الإجهاد المائي موجودًا في ثلثي سكان العالم. وللتغلب على المشاكل المتعلقة بندرة المياه، من الضروري استعادة المياه من مياه الصرف الصحي الموجودة أو إيجاد موارد مائية بديلة للاستخدام البشري (Saravanan et al., 2021). إذ تدفع الأمم المتحدة، من خلال خطة التنمية المستدامة لعام 2030، من أجل اعتماد ممارسة إعادة استخدام المياه في جميع أنحاء العالم كأداة أساسية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، فيما يلعب القطاع الزراعي، باعتباره المستهلك الرئيسي لنسبة المياه المتوفرة على الأرض (70% من استخدامات المياه العالمية)، دورًا مهمًا في خطة الإدارة المتكاملة للمياه، وفي المناطق التي يشكل فيها نقص المياه مشكلة جغرافية، فإن استخدام مياه الصرف الصحي لري المحاصيل هو الحل للحفاظ على الزراعة في المناطق الجافة (Leonel and Tonetti, 2021).

يبلغ الاستهلاك في المستشفيات في البلدان المتقدمة من 400 إلى 1200 لتر يوميًا لكل سرير، بينما يصل الاستهلاك المائي في البلدان النامية بين 200 و400 لتر لكل سرير يوميًا (Al Aukidy et al., 2017). إذ تحتاج المستشفيات إلى كمية كبيرة من المياه يوميًا لمختلف الاستخدامات والمرافق بناءً على العمليات التي تجري داخل النظام، وتتسبب النفايات الطبية المتضمنة للمواد الكيميائية والإشعاعية والبيولوجية التي يتم طرحها في المسطحات المائية والبحيرات في تلوث المياه بشكل خطير إذا لم تتم معالجتها قبل التخلص منها، ولاسيما المعادن الثقيلة التي تؤثر على جودة المياه (WHO, 2019).

إن المعادن مثل الزرنيخ والزرنيق والكروم والرصاص والكاديوم والكوبالت والزنك والنيكل والكوبالت والزنك والسيلينيوم شديدة السمية حتى في التراكيز المحدودة، فيما تشكل الكمية المتزايدة من المعادن الثقيلة مصدر قلق أكبر، لا سيما عندما يقوم عدد كبير من المؤسسات المختلفة بتصريف معادن مياه الصرف الصحي في المياه العذبة دون معالجة مناسبة (Masindi and Muedi, 2018). تعمل النباتات بما في ذلك الأعشاب والشجيرات والأشجار المرتبطة بالأحياء الدقيقة على معالجة الطبيعة من خلال التدهور وتراكم الملوثات. علاوة على ذلك، فإن تطبيق المعالجة النباتية بسيط لأنه لا يتطلب أي قوة عاملة متخصصة أو معدات مكلفة عالية الجودة. إدخال الملوثات السامة بتركيزات مختلفة يظهر سمية نباتية، مما يؤثر بشكل عكسي على إجراء المعالجة النباتية (Fu et al., 2003). تشمل المعالجة النباتية للتربة الملوثات بالمخلفات السامة على تطورات وإجراءات مختلفة، والتي تتضمن استخلاص النباتات، والتراكم النباتي، والتطهير النباتي، والتثبيت النباتي. تعتبر هذه التقنية فعالة من حيث التكلفة لاستعادة البيئة، فهي على عكس الإجراءات الأخرى لا تسبب أي آثار ضارة على البيئة. يمكن للمعالجة النباتية أن تتضمن وتهضم الملوثات البيئية مثل المعادن الثقيلة والهيدروكربونات والمبيدات الحشرية وما إلى ذلك (Susarla et al., 2002).

تهدف الدراسة الحالية إلى تقدير مستويات العناصر الثقيلة في المياه العادمة لمستشفى الحويجة، ومعالجة مياه الصرف الصحي للمستشفى حيويًا باستخدام نباتات الذرة الصفراء.

المواد وطرائق العمل

1-منطقة الدراسة: نفذت الدراسة الحالية في قسم علوم الحياة/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة تكريت، لتقييم ومعالجة المياه العادمة الصادرة عن مستشفى الحويجة العام، في مدينة الحويجة، 60 كم غرب مدينة كركوك، شمال العراق (الشكل 1)، إذ يخدم هذا المستشفى باعتباره المرفق الصحي الرئيسي الوحيد في القضاء والمحتاج لخدمة سكان المنطقة البالغ عددهم أكثر من 300,000 نسمة، ويتضمن صالات للعمليات الجراحية وقسم النسائية والأطفال والأشعة وغسيل الكلى وغيرها من الأقسام والوحدات الطبية، وينتج عن الإجراءات الطبية والوقائية والإدارية استهلاك آلاف الأطنان من المياه التي يتم تصريفها من المستشفى بعد معالجتها عن طريق قناة خاصة تمر من المدينة والحقول الزراعية وصولاً إلى مصبها النهائي في نهر زغيتون الذي ينتهي بدوره في نهر دجلة، وتستخدم هذه المياه في ري الحقول الزراعية المارة بها.

تضمنت الدراسة الحالية تحديد أربعة محطات على مجرى قناة تصريف المياه العادمة الناتجة عن المستشفى لتقييم نوعية هذه المياه من خلال تقدير الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية لها، ومعالجتها حيويًا ونانويًا، وهذه المواقع هي:

- 1- المحطة الأولى- موقع المستشفى: يقع داخل مستشفى الحويجة العام ويمثل النقطة الأولى لإطلاق المياه العادمة من المستشفى، ويبين الشكل (2-أ) موقع سحب العينات من المحطة الأولى.
- 2- المحطة الثانية- محطة البستنة: تقع على بعد 1500 م عن المحطة الأولى، في الجهة الجنوبية للمدينة، ويبين الشكل (2-ب) موقع سحب العينات من المحطة الثانية.
- 3- المحطة الثالثة- موقع المجزرة: تقع على بعد 500 م من الموقع الثاني، في الجهة الغربية للمدينة، ويبين الشكل (2-ج) موقع جمع العينات من المحطة الثالثة.
- 4- المحطة الرابعة- دور الزراعة: تقع على بعد 750 م عن المحطة الثالثة في الاتجاه الجنوبي الغربي خارج المدينة، ويبين الشكل (2-د) موقع جمع العينات من المحطة الرابعة.



الشكل (1): منطقة الدراسة.



ب- المحطة الثانية- محطة البستنة



أ- المحطة الأولى- مستشفى الحويجة العام



د- المحطة الرابعة- دور الزراعة



ج- المحطة الثالثة- قرب المجزرة

الشكل (2): محطات الدراسة.

جمع عينات المياه: بدأت عملية جمع عينات المياه من محطات الدراسة بصورة شهرية بداية من شهر تشرين الثاني/ 2022 ولغاية شهر آذار/ 2023، بواقع ثلاثة عينات لكل موقع في الشهر الواحد، أخذت النماذج بدءاً من الساعة الثامنة حتى العاشرة صباحاً، بواسطة قناني البولي ايثيلين سعة 500 مل غير شفافة، ولغرض الحفاظ على خواص المياه العادمة خزنت العينات بعيداً عن الضوء والحرارة لحين اجراء الفحوصات اللازمة، كما أجريت لها عملية تصفية من الجسيمات والدقائق العالقة باستخدام ورق ترشيح حجم مساماته 0.45 مايكرومتر، وهضمت العينات بإضافة 1 مل من حامض النتريك المركز لكل 50 مل من ماء العينة.

تقدير العناصر الثقيلة في المياه: قدرت تراكيز العناصر الثقيلة في عينات الماء حسب ما موضح في (APHA, 2005)، باستخدام جهاز الامتصاص الذري للهبتي (FAAS) والمصنع من قبل شركة (Sens AAS GBC Scientific Equipment Dual. Australian)، إذ تم من خلاله قياس تراكيز العناصر الثقيلة في المياه العادمة وهي: النحاس (Cu)، والرصاص (Pb)، والكاديوم (Cd)، والحديد (Fe)، والزنك (Zn)، إذ تعد هذه المعادن الأكثر شيوعاً في المياه العادمة. وأجريت عملية تصفية المياه العادمة مسبقاً من الجسيمات والدقائق العالقة بواسطة ورق ترشيح حجم مساماته 0.45 مايكرومتر، ثم هضمت عينات المياه العادمة بإضافة 1 مل من حمض النتريك المركز لكل 50 مل من ماء العينة. وعند قياس تركيز كل عنصر يتم اختيار المصباح الخاص به، وذلك لأن لكل عنصر طول موجي خاص به.

المعالجة الحيوية للمياه العادمة

جمع العينات النباتية ونهيتها: أجريت المعالجة الحيوي بتقييم تراكيز العناصر الثقيلة في نباتات الذرة الصفراء المروية من المياه العادمة لمستشفى الحويجة، فقد تم تحديد أربعة حقول لمحصول الذرة الصفراء توزعت من المحطة الثالثة الى ما بعد المحطة الرابعة، إذ تعتمد هذه الحقول في السقي على قناة تصريف المياه العادمة المدروسة كما مبين في الشكلين (3 و4)، وكانت مزروعة خلال العروة الربيعية للعام 2023، أخذت عينات من أوراق هذه النباتات بعد وصول المحصول الى مرحلة النضج الفسيولوجي، وجففت الأوراق ثم طحنت وعبئت في أكياس ورقة لتهيئتها بهدف تقدير محتواها من تراكيز العناصر الثقيلة.

تقدير العناصر الثقيلة في العينات النباتية: قدرت العناصر الثقيلة في العينات النباتية باستخدام جهاز الامتصاص الذري اللهبى (Atomic) بعد هضم مسحوق العينات النباتية بحسب (Neugebauer *et al.*, 2000).

التحليل الإحصائي Statistical Analysis: بعد جمع البيانات أدخلت الى الحاسوب وبوت باستخدام البرنامج الاكسيل Microsoft Office Excel، ثم أجريت العمليات الإحصائية باستخدام برنامج التحليل الاحصائي الجاهز (Statistical Analysis System (SAS) (الزبيدي والجوري، 2022).

اختبار تحليل التباين Analysis of Variance (ANOVA) Test: استخدم هذا الاختبار لتوضيح وجود الفروق معنوية أو عدم وجودها بين عوامل الدراسة (المواقع والاشهر) وتأثيرها على تركيز العناصر الثقيلة، غير أن هذا التحليل لا يوضح أي من المتغيرات الفئوية هو المسؤول عن إحداث هذه الفروق في المتغيرات المدروسة عند مستوى معنوية $P \leq 0.05$.

اختبار دنكن Duncan Test: هو اختبار مكمل لاختبار تحليل التباين اذ استخدم ليوضح لنا أي من العوامل الفئوية يختلف عن الآخر في إحداث التغيرات المعنوية في المتغيرات المدروسة عند مستوى معنوية $P \leq 0.05$.



الشكل (3): حقول جمع العينات النباتية لتقدير العناصر الثقيلة.



الشكل (4): مضخات ري المحاصيل المثبتة على قناة المياه العادمة لمستشفى الحويجة.

3- النتائج والمناقشة

المعادن الثقيلة هي مواد شديدة السمية حتى عند استخدامها بتركيزات منخفضة، وهي غير آمنة على صحة الإنسان بشكل مميّ، وتنتج إجهادًا مؤكسدًا بعد دخولها عبر السلسلة الغذائية، كما تسبب تليف الكبد واختلال وظائف الكلى والتخلف العقلي وانهايار

الجهاز العصبي المركزي واضطراب القلب والأوعية الدموية، والعقم، وانحطاط العقد القاعدية للدماغ وتسبب الوفاة في النهاية (Paithankar *et al.*, 2021).

تركيز النحاس: يلاحظ من الجدول (1) وجود اختلافات معنوية في تراكيز عنصر النحاس في عينات المياه للمحطات المدروسة، إذ يظهر من معدلات المواقع أنها تراوحت بين 0.250 و0.752 جزء بالمليون عند موقعي البستنة ودور الزراعة على التوالي، أما معدلات أشهر الدراسة فقد تراوحت بين 0.348 و0.571 جزء بالمليون خلال شهري شباط وتشيرين الثاني على التوالي، بينما تراوحت للتداخلات بين 0.203 و0.924 جزء بالمليون عند تداخل موقع البستنة مع شهر شباط وموقع دور الزراعة مع شهر تشيرين الثاني على التوالي. تعد نتائج الدراسة الحالية أقل من تلك التي توصل إليها Hamdan and Abood (2019) الذين درسوا نوعية المياه العادمة للمستشفى في ماليزيا، ووجدوا أن تركيز النحاس يبلغ 1.03 جزء بالمليون.

الجدول (1): متوسطات تراكيز النحاس عند محطات وأشهر الدراسة والتداخل بينهم.

المواقع الأشهر	المستشفى	البستنة	المجزرة	الزراعة	معدل الأشهر
تشيرين الثاني	0.550 e	0.316 n	0.496 f	0.924 a	0.571 a
كانون الأول	0.449 i	0.314 o	0.485 g	0.823 b	0.518 b
كانون الثاني	0.338 m	0.452 h	0.374 j	0.711 c	0.406 c
شباط	0.226 p	0.203 s	0.363 k	0.601 d	0.348 e
آذار	0.215 q	0.214 r	0.353 l	0.700 c	0.371 d
معدل المواقع	0.356 c	0.250 d	0.414 b	0.752 a	

-القيم المتوقعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P \leq 0.05$).

تركيز الحديد: أظهرت نتائج تقدير عنصر الحديد في عينات المياه للمحطات المدروسة والمدينة في الجدول (2) وجود تأثير معنوي للنفايات الصحية في المياه العادمة للمستشفى، إذ يلاحظ أن أعلى القيم لتراكيز عنصر الحديد بلغت 1.296 و1.109 و1.485 جزء بالمليون عند معدلات موقع دور الزراعة وشهر تشيرين الثاني والتداخل بين موقع الزراعة وشهر كانون الأول على التوالي، فيما بلغت أعلى التراكيز 0.807 و0.940 و0.745 جزء بالمليون عند معدلات موقع محطة البستنة وشهر شباط والتداخل بينهما على التوالي فضلاً عن معدل شهر آذار الذي بلغ 0.940 جزء بالمليون.

بمقارنة نتائج الدراسة الحالية مع نتائج الدراسات السابقة نجد أن نتائج هذه الدراسة أقل مما توصل إليه Salifu *et al.* (2022) الذين تراوحت تراكيز الحديد في دراستهم بين (12.79 إلى 13.11 جزء بالمليون). فيما تعد نتائج الدراسة الحالية مرتفعة مقارنة بتلك التي توصل إليها Hamdan and Abood (2019) الذين درسوا نوعية المياه العادمة للمستشفى على في ماليزيا، ووجدوا أن تركيز الحديد بلغ 0.02 جزء بالمليون.

الجدول (2): متوسطات تراكيز الحديد عند محطات وأشهر الدراسة والتداخل بينهم.

المواقع الأشهر	المستشفى	البستنة	المجزرة	الزراعة	معدل الأشهر
تشيرين الثاني	1.239 d	0.856 l	0.946 j	1.397 b	1.109 a
كانون الأول	1.228 e	0.745 p	0.845 m	1.485 a	1.076 b
كانون الثاني	1.117 g	1.001 i	0.945 k	1.275 c	1.046 c
شباط	1.006 h	0.745 p	0.844 n	1.165 f	0.940 d
آذار	1.006 h	0.844 n	0.755 o	1.155 f	0.940 d
معدل المواقع	1.119 b	0.807 d	0.867 c	1.296 a	

-القيم المتوقعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P \leq 0.05$).

تركيز الكاديوم: إن إلقاء طرح مياه الصرف الصحي للمستشفيات الى المياه السطحية القريبة بصورة مباشرة يسبب ارتفاع في تركيز عنصر الكاديوم، الذي يدخل الى جسم الانسان وبوصوله الى الدم ينتقل الى الكبد ويتحد مع البروتينات فينتج مركبات معقدة تنتقل للكلى وتلف انسجة الكلى وتسبب اضطراب وظائف الكلى وبالتالي خروج البروتينات والسكريات من الجسم، وقد يسبب السكري والسرطان (محمود، 2010).

أظهرت نتائج الجدول (3) وجود اختلافات معنوية بين تراكيز عنصر الكاديوم في عينات المياه لمحطات المياه العادمة قيد الدراسة، إذ بلغت أعلى القيم 0.143 و0.113 و0.164 جزء بالمليون عند معدلات موقع دور الزراعة وشهر تشيرين الثاني والتداخل بينهما على التوالي، فيما بلغت أدنى القيم لتراكيز الكاديوم 0.039 و0.055 و0.024 جزء بالمليون عند معدلات موقع المجزرة وشهر آذار والتداخل بين موقع المستشفى وشهر آذار على التوالي.

الجدول (3): متوسطات تراكيز الكاديوم عند محطات وأشهر الدراسة والتداخل بينهم.

المواقع الأشهر	المستشفى	البستنة	المجزرة	الزراعة	معدل الأشهر
تشيرين الثاني	0.158 b	0.076 h	0.054 j	0.164 a	0.113 a
كانون الأول	0.147 d	0.065 i	0.044 k	0.154 c	0.102 b
كانون الثاني	0.036 n	0.088 g	0.033 o	0.143 e	0.066 c
شباط	0.024 r	0.042 l	0.033 p	0.132 f	0.058 d
آذار	0.0242 s	0.042 m	0.032 q	0.122 f	0.055 e
معدل المواقع	0.078 b	0.056 c	0.039 d	0.143 a	

-القيم المتوقعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P \leq 0.05$).

يعزى ارتفاع تراكيز الكاديوم الى تراكم هذا العنصر العالية ضمن النفايات السائلة الطبية للمستشفيات، فضلاً عن دور الانابيب البلاستيكية الناقلة للمياه والتي تعمل على ترسيب الكاديوم المار خلالها (Sarvestani and Aghasi, 2019). وفي دراسة العلواني (2021) حول تأثير مياه الصرف الصحي للمستشفيات على المياه السطحية في محافظة الانبار، حصل على تراكيز لعنصر الكاديوم اقل من التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة، كما نجد أن التراكيز المسجلة خلال هذه الدراسة قد تجاوزت الحدود الآمنة المسموح حسب المواصفات القياسية العراقية لمياه الشرب لسنة 2001 والتي حددت القيمة القصوى 0.003 جزء بالمليون. بينما وجد حسين (2012) أن أعلى تركيز للكاديوم بلغ 0.0197 جزء بالمليون في رواسب الصرف الصحي لمدينة تكريت. أما Salifu *et al.* (2022) فقد حصلوا على تراكيز للكاديوم تراوحت بين 0.29 إلى 0.27 ملغم/ لتر.

تركيز الرصاص: يتميز الرصاص بطبيعته التراكمية داخل جسم الانسان، إذ يتراكم في المفاصل والكلى ويزيد من انتاج حامض اليوريك فضلاً عن اجهاز الحوامل وتشويه الاجنة، كما يحدث التخلف العقلي والضعف العام لدى الأطفال بسبب أخذه مواقع الكالسيوم في أنسجة العظام فضلاً عن خفض تخليق صبغة الهيموكلوبين في الجسم (Wu *et al.*, 2016).

تظهر في الجدول (4) نتائج تقدير تراكيز عنصر الرصاص في عينات المياه للمحطات المحددة خلال أشهر الدراسة، وتبين النتائج تأثير تراكيز الرصاص في قناة تصريف المياه العادمة حسب قرب نقطة التصريف لمياه المستشفى، ففي معدل المواقع سجل موقع المستشفى اعلى تركيز للرصاص بلغ 0.346 جزء بالمليون، فيما سجل موقع الزراعة أدنى معدل بلغ 0.109 جزء بالمليون. أما معدلات الأشهر فقد تراوحت بين 0.134 و0.357 جزء بالمليون خلال شهري آذار وتشيرين الثاني التوالي. بينما أظهرت التداخلات أن اعلى قيمة لتركيز الرصاص بلغت 0.514 جزء بالمليون عند موقع المستشفى خلال شهر تشرين الثاني، بينما بلغت أدنى قيمة 0.001 جزء بالمليون عند موقع المجزرة خلال شهر شباط.

الجدول (4): متوسطات تراكيز الرصاص عند محطات وأشهر الدراسة والتداخل بينهم.

المواقع الأشهر	المستشفى	البستنة	المجزرة	الزراعة	معدل الأشهر
تشرين الثاني	0.514 a	0.467 b	0.215 l	0.230 h	0.357 a
كانون الاول	0.413 c	0.356 d	0.214 m	0.223 i	0.301 b
كانون الثاني	0.302 e	0.217 k	0.111 o	0.221 j	0.209 c
شباط	0.301 f	0.103 p	0.001 s	0.232 g	0.159 d
آذار	0.201 n	0.103 q	0.002 r	0.231 g	0.134 e
معدل المواقع	0.346 a	0.246 b	0.109 d	0.228 c	

-القيم المتوقعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P \leq 0.05$). وهذه النتائج اعلى من تلك التي حصل عليها العلواني (2021) الذي بين أن اعلى تركيز للرصاص تم تسجيله بلغ 0.330 جزء بالمليون، وعزى ذلك الى إلقاء المخلفات السائلة للمستشفيات الى المسطحات المائية، وفي هذا الصدد أكد (Chen *et al.*, 2016) على أهمية مراقبة تراكيز عنصر الرصاص لكونه سبب اعتلالا في الدماغ واضطرابات قلبية وعائية وخفض تكوين الحديد وبالتالي فقر الدم، وأكد (AL-Heety *et al.*, 2021) أن المصادر الرئيسية للرصاص في المياه هي العمليات الصناعية واستخدام الأسمدة الزراعية المحتوية على تراكيز عالية من الرصاص، فضلاً عن ترسبات الغلاف الجوي. إن تراكيز الرصاص في المواقع الأربعة قيد الدراسة كانت جميعها اعلى من الحدود الآمنة لمياه الشرب حسب توصيات منظمة الصحة العالمية والبالغة 0.01 جزء بالمليون (WHO, 1996).

تركيز الزنك: يعد الزنك من المعادن المهمة لصحة الانسان وسلامته، بسبب دخوله في العديد من التركيبات العلاجية، إذ يستخدم كمرهم للجلد ضد العديد من التهابات الجلد لدوره في تشجيع الخلايا على مقاومة الالتهاب (Bhowmik *et al.*, 2010). فضلاً عن استخدام أوكسيد الزنك في علاج حب الشباب والطفح الجلدي والحروق، كما يحتاجه الجسم بكميات بسيطة لا تتجاوز 4 جزء بالمليون لتحسين صحة عملية الهضم وعمل القلب والجهاز التنفسي وتقوية المناعة وونقل الإشارات والتعبير الجيني وتطور الجهاز التناسلي (حسين وآخرون، 2011).

أظهرت نتائج تقدير تراكيز الزنك لعينات مياه المحطات قيد الدراسة المبينة في الجدول (5)، وجود تأثير معنوي لإطلاق المياه العادمة لمستشفى الحويجة في القناة، إذ سجلت معدلات موقع محطة البستنة وشهر تشرين الثاني والتداخل بين موقع دور الزراعة وشهر تشرين الثاني أعلى القيم والتي بلغت 1.450 و1.311 و1.622 جزء بالمليون على التوالي، فيما بلغت أدنى القيم 0.749 و1.070 و0.621 جزء بالمليون عند معدلات موقع المجزرة وشهر شباط والتداخل بينهما على التوالي.

الجدول (5): متوسطات تراكيز الزنك عند محطات وأشهر الدراسة والتداخل بينهم.

المواقع الأشهر	المستشفى	البستنة	المجزرة	الزراعة	معدل الأشهر
تشرين الثاني	1.104 j	1.577 b	0.942 o	1.622 a	1.311 a
كانون الاول	1.103 k	1.466 d	0.832 p	1.512 c	1.228 b
كانون الثاني	1.027 l	1.427 e	0.721 q	1.201 h	1.101 c
شباط	1.026 m	1.432 e	0.621 s	1.200 i	1.070 e
آذار	1.024 n	1.322 g	0.631 r	1.400 f	1.094 d
معدل المواقع	1.057 c	1.450 a	0.749 d	1.387 b	

-القيم المتوقعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P \leq 0.05$).

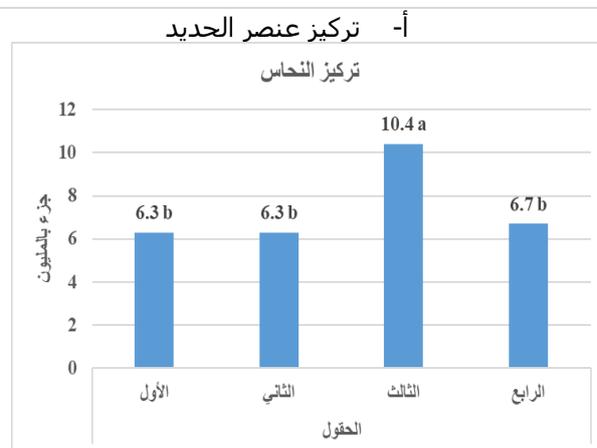
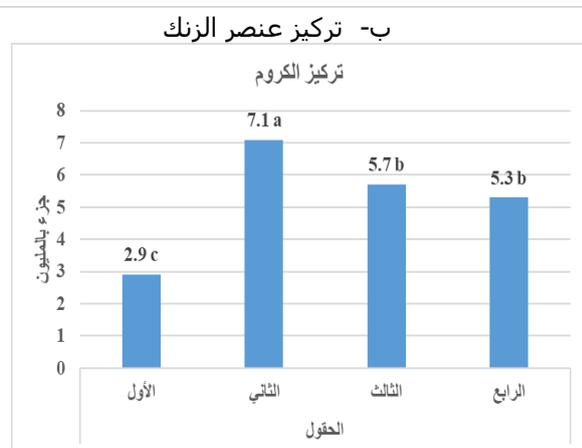
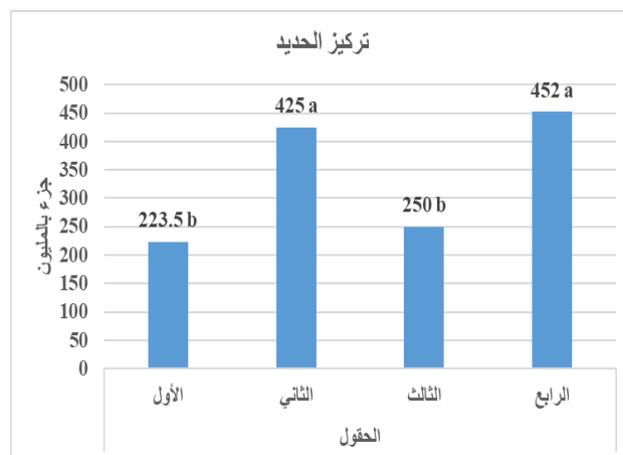
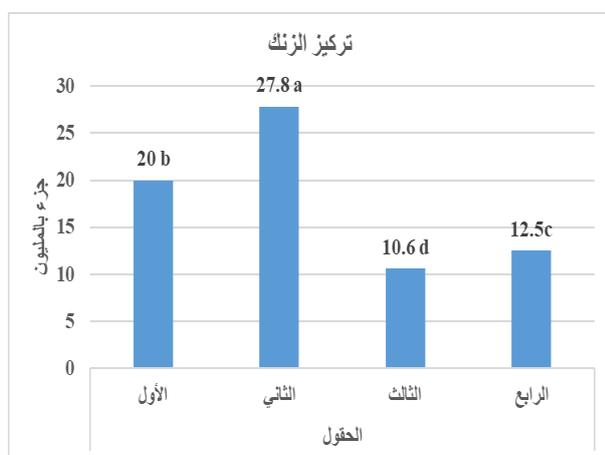
إن تراكيز الزنك التي تم الحصول عليها في الدراسة الحالية تعتبر واطئة نسبياً مقارنة بالمحددات المعتمدة والدراسات السابقة، فقد قدرت منظمة الصحة العالمية التركيز 3 جزء بالمليون كأقصى حد لتركيز الزنك في مياه الشرب (WHO, 1996). فيما بلغت اعلى التراكيز التي حصل عليها العلواني (2021) 3.09 جزء بالمليون خلال شهر كانون الثاني، بينما حصل (Khan *et al.*, 2016) على تراكيز مرتفعة لعنصر الزنك بلغت 6.7 و6.6 و5.3 جزء بالمليون في النفايات الطبية للمستشفيات الثلاثة التي درسها. وبلغت تراكيز الزنك 5.80 إلى 5.72 جزء بالمليون (Salifu *et al.*, 2022). فيما تعد نتائج الدراسة الحالية مرتفعة مقارنة بتلك التي توصل اليها (Hamdan and Abood, 2019) الذين وجدوا أن تركيز الزنك بلغ 0.20 جزء بالمليون. كما وصف الاعرجي (2006) المحتوى الكيميائي لمياه الصرف الصحي المطروحة من المستشفيات بأنها تحوي كم هائل من المعادن الثقيلة، ومنها معدن الزنك الذي يتواجد بشكل

ايون عند قيم الاس الهيدروجيني المنخفضة، ويكون بشكل هيدروكسيد عندما ترتفع قيم الاس الهيدروجيني فوق 9.3. وأكد Chasapis *et al.* (2020) على مراقبة تراكيز عنصر الزنك في المياه بسبب الاضرار الصحية التي تسببها التراكيز العالية من خلال التأثير على الكبد والكلية والدماغ، فضلاً عن رفع درجة حموضة المعدة واثلاف بطانتها من خلال قدرته على التحلل وإنتاج كلوريد الزنك، كما يعزز السمته ويزيد فرصة الإصابة بمرض السكري.

المعالجة الحيوية للمياه العادمة

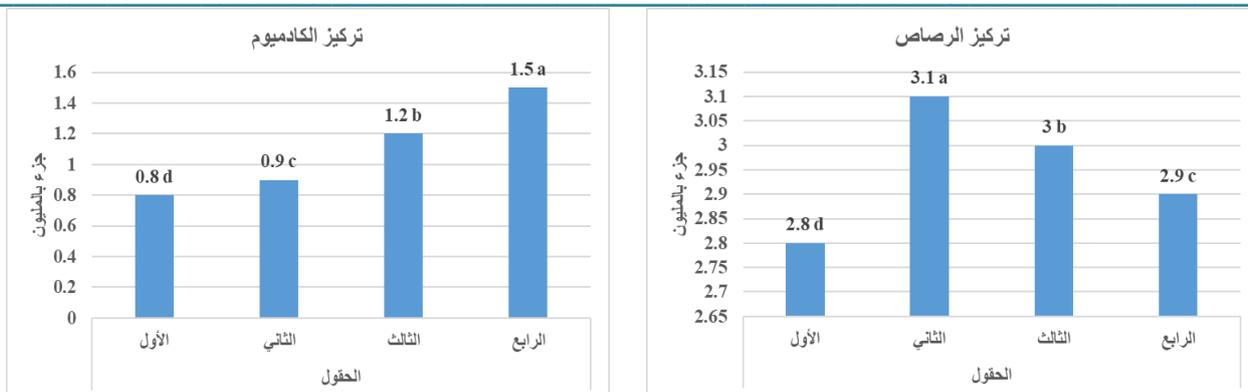
يساهم ري المحاصيل باستخدام مياه الصرف الصحي في تقليل الطلب على المياه العذبة، فضلاً عن الحد من تدهور النظم البيئية المائية عن طريق تصريف مياه الصرف الصحي (Becerra-Castro *et al.*, 2015). وهناك ميزة أخرى تتمثل في تحويل المياه العادمة إلى مورد قيم، لأنه بالإضافة إلى الماء، فإنه يوفر أيضاً المعادن والمواد العضوية والمواد المغذية مثل النيتروجين والفوسفور للمحصول. إلى جانب جميع المزايا، يتطلب التبنّي المستدام لإعادة الاستخدام الزراعي لمخلفات المستشفيات اعتبارات تتعلق بالتأثيرات على إنتاجية المحاصيل، والخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للصحة العامة (Ibekwe *et al.*, 2018). إن استراتيجيات الإدارة الدقيقة، بما في ذلك تطبيق مستويات كافية من المعالجة، والمراقبة الدورية لخصائص النبات، فضلاً عن ممارسات الري والزراعة والحصاد الكافية، أمر ضروري لتقليل المخاطر التي يتعرض لها الإنسان والبيئة، وضمان بيئة آمنة ومستدامة ومريحة عن طريق تطبيق إعادة الاستخدام (Maaß and Grundmann, 2016). فيما أصبحت الزيادة المتواصلة للمعادن الثقيلة في البيئة من الري بمياه الصرف الصحي قضية عالمية، إذ تدخل هذه المعادن الثقيلة إلى السلسلة الغذائية وتثير تساؤلات صحية على المستهلكين عند استخدامها (Atta *et al.*, 2023).

تظهر في الشكل (5) نتائج تقدير العناصر الثقيلة (الحديد والزنك والنحاس والكروم والرصاص والكاديوم) على التوالي، في اوراق نباتات الذرة الصفراء التي سقيت من قناة تصريف المياه العادمة المدروسة لمستشفى الحويجة، إذ يبين الشكل (5-أ) تراكيز عنصر الحديد في الأوراق، ويلاحظ أن نباتات الحقلين الثاني والرابع سجلت أعلى التراكيز معنوياً لعنصر الحديد بلغت 425 و 452 جزء بالمليون على التوالي، فيما سجلت نباتات الحقلين الأول والثالث أدنى التراكيز والتي بلغت 223.5 و 250 جزء بالمليون على التوالي. تظهر في الشكل (5-ب) تراكيز عنصر الزنك في الأوراق، ويلاحظ أن النباتات المروية بالمياه العادمة في الحقل الثاني حققت أعلى التراكيز معنوياً لعنصر الزنك بلغ 27.8 جزء بالمليون، فيما سجلت نباتات الحقل الثالث أدنى التراكيز والتي بلغت 10.6 جزء بالمليون. فيما يوضح الشكل (5-ج) تراكيز عنصر النحاس في أوراق نباتات الذرة الصفراء، ويلاحظ أن نباتات الحقل الثالث سجلت أعلى تركيز معنوياً لعنصر النحاس بلغ 10.4 جزء بالمليون، فيما سجلت نباتات الحقل الأول والأخرى قيد الدراسة تراكيز متقاربة بلغت 6.3 و 6.7 جزء بالمليون عند نباتات الحقل الرابع. كما يبين نتائج الشكل (5-د) تراكيز عنصر الكروم في أوراق نباتات الذرة الصفراء، ويظهر أن نباتات الحقل الثاني حققت أعلى التراكيز معنوياً لعنصر الكروم بلغ 7.1 جزء بالمليون، فيما سجلت نباتات الحقل الأول والأدنى والذي بلغ 2.9 جزء بالمليون. ويبين الشكل (5-هـ) تراكيز عنصر الرصاص في الأوراق، ويظهر فيه أن نباتات الحقل الثاني سجلت التركيز الأعلى معنوياً لعنصر الرصاص والذي بلغ 3.1 جزء بالمليون، فيما سجلت نباتات الذرة الصفراء في الحقل الأول والمروية من المياه العادمة أدنى التراكيز والذي بلغ 2.8 جزء بالمليون. بينما تظهر في الشكل (5-و) تراكيز عنصر الكاديوم في أوراق نباتات الذرة الصفراء المروية بالمياه العادمة للمستشفى، ويلاحظ أن نباتات الحقل الرابع



د- تركيز عنصر الكروم

ج- تركيز عنصر النحاس



و- تركيز عنصر الكاديوم

ه- تركيز عنصر الرصاص

الشكل (5): متوسطات تراكيز العناصر الثقيلة في أوراق نباتات الذرة الصفراء المروية بالمياه العادمة.

القيم المتبوعة بنفس الحرف لا تختلف عن بعضها معنوياً حسب اختبار دنكن ($P < 0.05$).

سجلت أعلى تركيز معنوياً لعنصر الكاديوم بلغ 1.5 جزء بالمليون، فيما سجلت نباتات الحقل الأول أدنى التراكيز والتي بلغت 0.8 جزء بالمليون.

بحسب (Aderinola *et al.* (2012) فإن منظمة الصحة العالمية ومنظمة الغذاء العالمية WHO/FAO قد حددتا التراكيز القصوى من المعادن الثقيلة في المحاصيل الزراعية للعناصر Cr و Cu و Fe و Pb و Zn بالقيم 0.2 و 2.3 و 73 و 425 و 0.3 و 99 جزء بالمليون على التوالي. وبمقارنة نتائج الدراسة الحالية مع هذه المحددات نجد أن تراكيز أغلب العناصر الثقيلة المدروسة كانت مرتفعة، إذ تجاوزت عناصر الكاديوم والكروم والرصاص والحدود المسموح بها في العينات النباتية المروية بالمياه المستعملة من جميع المحطات، فيما تجاوزت الحدود المسموح بها في النباتات المروية من محطة دور الزراعة بالنسبة لعنصر الحديد، وكانت تراكيز عناصر النحاس والزنك في العينات النباتية ضمن الحدود الآمنة. كما إن هذه النتائج تشير إلى الكفاءة العالية لمحصول الذرة الصفراء في امتصاص العناصر الثقيلة.

ومن الدراسات السابقة في هذا المجال درس (Atta *et al.* (2023) حالة المعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي والنباتات المروية بها في منطقة ديبرا غازي خان الباكستانية، وبينت نتائجهم أن نقل المعادن كان فعالاً للغاية من التربة إلى النباتات النامية مثل المورينجا والذرة الحمراء والقمح والبطاطم والسبانخ. ومن بين المعادن، تجاوزت الكروم والرصاص في العينات النباتية الحد الآمن الذي حددته منظمة الصحة العالمية/منظمة الأغذية والزراعة، كما كشف مؤشر المخاطر الصحية (HRI) عن المخاطر المحتملة لأنواع النباتات الملوثة بالمعادن الثقيلة بالترتيب: السبانخ (6.4) < القمح (6.4) < المورينجا (5.9) < البطاطم (4.7) < الذرة الحمراء (4.5) < قرع التفاح (4.3) < ذرة بيضاء (3.8) < ملفوف (3.1) < لوف (2.9). كما تم حساب HRI للمعادن المختلفة وكانت النتيجة على النحو التالي: الحديد (329.8-12.7 ملغم/كغم) < النحاس (33.5-7.19 ملغم/كغم) < الزنك (29.3-8.72 ملغم/كغم) < الكروم (4.61-1.22 ملغم/كغم) < الرصاص (0.34-0.004 ملغم/كغم) < الكاديوم (0.18-0.11 ملغم/كغم)، إذ كشف مستوى HRI من خلال استخدام النباتات الغذائية عن ارتفاع مستوى المخاطر عن الحد المقبول ($HRI > 1$) للنحاس < الزنك < الكروم لدى البالغين. أما (Daneshvar *et al.* (2020) فقد درسوا تأثير الري بمياه البئر ومياه الصرف الصحي على تركيز العناصر الثقيلة في محصول الذرة الصفراء، ووجدوا أن الري بمياه الصرف الصحي أدى إلى زيادة تراكيز العناصر الثقيلة في الأوراق لتبلغ 164.5 و 44.5 جزء بالمليون لكل من الحديد والزنك على التوالي، إذ يعد تركيز الحديد أقل مما تم الحصول عليه في هذه الدراسة، بينما كان تركيز الزنك مرتفعاً.

بينما ذكر (de Santiago-Martín *et al.* (2020) أن تركيز العناصر الثقيلة في حبوب الذرة المروية بمياه الصرف الصحي في إسبانيا كان منخفضاً بشكل عام، فقد كانت تراكيز كانت تراكيز Cr و Pb و Cd ضمن الحدود الآمنة، وأشاروا الكاديوم والرصاص هما المواد الكيميائية الوحيدة المدرجة في قائمة الملوثات في المواد الغذائية الحيوانية (ضمن لائحة المفوضية الأوروبية 1881/2006 (EC))، وبلغت تراكيز العناصر الثقيلة المكتشفة في المادة الجافة: 1.3-41.6 جزء بالمليون للزنك < 0.9-1.9 جزء بالمليون للكروم، وأكدوا أن انتقال العناصر الثقيلة إلى الأجزاء الصالحة للأكل من الذرة كان منخفضاً جداً، وبالتالي أشاروا إلى عدم وجود خطر يتعلق باستهلاك الذرة المزروعة في المنطقة التي تم التحقيق فيها.

استنتاج: نستنتج من نتائج الدراسة الحالية أن تراكيز العناصر الثقيلة بلغت أقصاها عند المحطة الأخيرة (دور الزراعة)، وأن معالجة المياه العادمة بالطريقة الحيوية أظهرت كفاءة عالية. ونتيجة لما سبق، ينبغي تنفيذ عناصر المراقبة الصارمة من قبل الجهات المسؤولة لضمان المعالجة الكافية لمياه الصرف الصحي الناتجة قبل تصريفها في البيئة. واستخدام المياه العادمة لمستشفى الحويجة في ري النباتات غير الغذائية وفي إنشاء الغابات لمقاومة التصحر، تجنباً لتراكم العناصر الثقيلة في أحد حلقات السلسلة الغذائية. وإجراء دراسات أكثر شمولاً تستهدف بقية العناصر الثقيلة. فضلاً عن توسيع الفحوصات الكيميائية للكشف عن مستويات العناصر الثقيلة في التربة وبقية أجزاء النبات.

المصادر

حسين، محمود شكري وغيداء حسين عبد الرحيم واحمد عبد المنعم جاسم وزينب كاظم حسن وجيليل إبراهيم اسعد ونور الهدى نبيل احمد. (2011). دراسة تلوث نهر دجلة في محافظة بغداد ببعض العناصر الثقيلة (الزنك والرصاص) وتقييم نوعيته كيميائياً وحياتياً ومعرفة التغيرات الكيميائية والحياتية وصلاحيته للأغراض المدنية والزراعية. مجلة مركز بحوث التقنيات الاحيائية، 5(2): 4-14.

حسين، هالة أرشد علي. (2012). معالجة مطروحات مياه الصرف الصحي لمدينة تكريت باستعمال تقنية المجففات الحرارية الدوارة وإعادة استخدامها كأسمدة عضوية. أطروحة دكتوراه، كلية التربية، جامعة تكريت، العراق.

الزبيدي، خالد محمد داؤد وخالد خليل احمد الجبوري. (2022). الإحصاء الحيوي. الطبعة الأولى، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، العراق.

العلوانبي، رافي فواز مطر نصيف. (2021). تقدير بعض العناصر الثقيلة في مخلفات المياه الناتجة من مستشفى الرمادي التعليمي ومستشفى النسائية والأطفال ومعالجتها بالمواد النانوية. رسالة ماجستير، قسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، العراق.

Aderinola, O. J., Kusemiju, V., Clarke, E. O., Anetekhai, M. A., and Adu, A. A. (2012). Bioaccumulation of heavy metals in Silver catfish-*Chrysichthys nigrodigitatus*, Tilapia zillii and Macrobrachium macrobrachion caught in Badagry creek, Lagos, Nigeria. *Transnational Journal of Science and Technology*. 2 (7), 34–47.

- Al Aukidy, M., Al Chalabi, S., & Verlicchi, P. (2017). Hospital wastewater treatments adopted in Asia, Africa, and Australia. In *Hospital Wastewaters* (pp. 171-188). Springer, Cham.
- AL-Heety, L. F., Hasan, O. M., & Al-Heety, E. A. M. S. (2021). Heavy Metal Pollution and Ecological Risk Assessment in Soils Adjacent to Electrical Generators in Ramadi City, Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 1077-1087.
- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA, 21.
- Atta, M. I., Zehra, S. S., Dai, D. Q., Ali, H., Ali, I., & Ali, B. (2023). Amassing of heavy metals in soils, vegetables and crop plants irrigated with wastewater: Health risk assessment of heavy metals in Dera Ghazi Khan, Punjab, Pakistan. *Frontiers in plant science*, 13, 1080635.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environ. Int.* 75, 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001>.
- Chasapis, C. T., Ntoupa, P. S. A., Spiliopoulou, C. A., & Stefanidou, M. E. (2020). Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Archives of toxicology*, 94, 1443-1460.
- Daneshvar, M., Fattahi, F., Rahmani, H. R., Sanavy, S. A. M., & Masoud, S. A. M. I. (2020). Effect of municipal wastewater irrigation and well water on plant and soil characteristics. *Notulae Scientia Biologicae*, 12(2), 409-419.
- de Santiago-Martín, A., Meffe, R., Teijón, G., Hernández, V. M., Lopez-Heras, I., Alonso, C. A., ... & de Bustamante, I. (2020). Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation?. *Science of the total environment*, 705, 135825.
- Hamdan, D. A. and Abood, M. M. (2019). The effects of hospital effluent discharges on the quality of water. *Research journal (iuklrj)*, 85.
- Ibekwe, A.M., Gonzalez-Rubio, A., Suarez, D.L., 2018. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. *Sci. Total Environ.* 622–623, 1603–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.039>.
- Karimi-Maleh, H., Karimi, F., Malekmohammadi, S., Zakariae, N., Esmaeili, R., Rostamnia, S., Yola, M.L., Atar, N., Movaghgharnezhad, S., Rajendran, S., Razmjou, A., Orooji, Y., Agarwal, S., Gupta, V.K. (2020). An amplified voltammetric sensor based on platinum nanoparticle/ polyoxometalate/ twodimensional hexagonal boron nitride nanosheets composite and ionic liquid for determination of N-hydroxysuccinimide in water samples. *J. Mol. Liq.* 310, 113185. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113185>.
- Khan, S., Rauf, R., Muhammad, S., Qasim, M., & Din, I. (2016). Arsenic and heavy metals health risk assessment through drinking water consumption in the Peshawar District, Pakistan. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 22(3), 581-596.
- Leonel, L. P., & Tonetti, A. L. (2021). Wastewater reuse for crop irrigation: Crop yield, soil and human health implications based on giardiasis epidemiology. *Science of the Total Environment*, 775, 145833.
- Maaß, O., Grundmann, P., 2016. Added-value from linking the value chains of wastewater treatment, crop production and bioenergy production: a case study on reusing wastewater and sludge in crop production in Braunschweig (Germany). *Resour. Conserv. Recycl.* 107, 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.002>.
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10, 115-132.
- Neugebauer, E.A., Sans Cartier, G. L. and Wakeford, B. J. (2000). National wildlife Research Center. Canadian Wildlife Service. Technical Report Series Number 337.
- Paithankar, J. G., Saini, S., Dwivedi, S., Sharma, A., Chowdhuri, D. K. (2021). Heavy metal associated health hazards: An interplay of oxidative stress and signal transduction. *Chemosphere* 262, 128350. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350
- Salifu, O. C., Idemudia, I. B., Imarhiagbe, E. E., & Ekhaise, F. O. (2022). Evaluation of wastewater from a public healthcare facility in Benin City, Nigeria: A case study of its physicochemical, bacteriological qualities and occurrence of extended spectrum beta lactamase bacterial isolates. *African Journal of Health, Safety and Environment*, 3(2), 46-60.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Jeevanantham, S., Karishma, S., Tajsabreen, B., Yaashikaa, P. R., & Reshma, B. (2021). Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. *Chemosphere*, 280, 130595.
- Sarvestani, R. A., & Aghasi, M. (2019). Health risk assessment of heavy metals exposure (lead, cadmium, and copper) through drinking water consumption in Kerman city, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 78(24), 1-11.
- WHO, World Health Organization. (1996). *Guidline for Drinking Water Quality 2nd ed. vol. 2: 940-951.*
- WHO. (2019). Definition and characterization of health-care waste. WHO press pages 2-19.
- Wu, X., Cobbina, S. J., Mao, G., Xu, H., Zhang, Z., & Yang, L. (2016). A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(9), 8244-8259.

- Xu, X., Yang, Y., Wang, G., Zhang, S., Cheng, Z., Li, T., Yang, Z., Xian, J., Yang, Y., Zhou, W. (2020). Removal of heavy metals from industrial sludge with new plantebased washing agents. *Chemosphere* 246, 125816. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125816>.
- Susarla, S., Medina, V.F., McCutcheon, S.C., 2002. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecol. Eng.* 18, 647e658. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5).
- Fu, J., Mai, B., Sheng, G., Zhang, G., Wang, X., Peng, P., Xiao, X., Cheng, R.R., Peng, X., Wang, Z., Tang, U.W., 2003. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview. *Chemosphere* 52. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00477-6](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00477-6), 1411e1142.