

Determination of some trace heavy Metals (Pb, Cd, Cu) in sediments of the Euphrates River (Deir Ezzor Governorate)

Dr. Ibrahim Nisafi*
Dr. Hussam Eddin Laika**
Dr. Mohammad Hassan***
Lehad AL-ALI****

(Received 8 / 7 / 2023. Accepted 5 / 11 / 2023)

□ ABSTRACT □

This study aimed to determine the concentration of the three trace heavy metals (Pb, Cd, Cu) in the sediments of the Euphrates River within Deir Ez-Zor Governorate, in addition to evaluating the degree of pollution of the river sediments through the use of The Contamination Factor (CF) and the Pollution Load Index (PLI). Three sampling stations were identified along the river course within Deir ez-Zor Governorate: Hatla, Hawija Sukr, and Al-Rushdiyah. Water and sediment samples were collected quarterly during the year 2021-2022, and the concentrations of heavy metals were determined using atomic absorption spectroscopy.

The results showed an accumulation of the three trace heavy metals in the sediments in all the studied sites. Their average rates ranged between (mg/kg 34.655), (mg/kg 21.688), and (0.811 mg/kg) for each of the metals Pb, Cu, and Cd, respectively. The results also showed similarity. It was found that the concentration values of the three heavy metal elements measured between the study stations, and it was found that there were no significant differences between them ($P > 0.05$). The results also showed clear seasonal changes in the concentrations of the heavy metals studied, as their values increased in the summer and fall seasons compared to the winter and spring seasons. In addition to differences in their concentrations between the studied sites. The contamination factor values CF for three studied metals showed moderate to major contamination.

Keywords: river sediments, pollution, heavy metals (Pb, Cd, Cu), Euphrates River, Deir Ezzor Governorate.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor, Department Of Forestry And Ecology, Faculty Of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. IbrahimNisafi@gmail.com

**Associate Professor, Department of Marine Chemistry, High Institute of Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria

*** Professor, Department Of Forestry And Ecology, Faculty Of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

****Postgraduate Student (PhD), Department of Forestry And Ecology, Faculty Of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تحديد تراكيز نزر بعض العناصر المعدنية الثقيلة Pb, Cd, Cu في رسوبيات نهر الفرات (محافظة دير الزور)

د. إبراهيم نيسافي*

د. حسام الدين لايقة**

د. محمد حسن***

لحافظ العلي****

(تاريخ الإيداع 8 / 7 / 2023. قبل للنشر في 5 / 11 / 2023)

□ ملخص □

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تركيز نزر ثلاث عناصر معدنية ثقيلة (Pb, Cd & Cu) في رسوبيات نهر الفرات ضمن محافظة ديرالزور، إضافة إلى تقييم درجة تلوث رسوبيات النهر من خلال استخدام عامل التلوث (CF) ومؤشر حمولة التلوث (PLI). حُددت ثلاث محطات اعتيان على مجرى النهر ضمن محافظة دير الزور، وهي حطلة حويجة صكر والرشدية. جُمعت عينات المياه والرسوبيات فصلياً خلال عام 2021-2022 وتم تحديد تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة باستخدام تقانة مطيافية الامتصاص الذري.

أظهرت النتائج وجود تراكم لنزر العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات في كافة المواقع المدروسة تراوحت معدلاتها الوسطية ما بين (34.655 mg/kg) و (21.688 mg/kg) و (0.811 mg/kg) لكل من العناصر Pb و Cu و Cd على التوالي، كما أوضحت النتائج تقارباً كبيراً في قيم تركيز العناصر المعدنية الثقيلة الثلاثة المقيسة بين محطات الدراسة وتبين عدم وجود فروق معنوية بينها ($P > 0.05$)، كما بينت النتائج تغيرات فصلية واضحة لتراكيز العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة، حيث ارتفعت قيمها في فصلي الصيف والخريف مقارنة مع فصلي الشتاء والربيع، هذا إضافة إلى اختلافات في تراكيزها بين المواقع المدروسة.

أوضحت قيم عامل التلوث CF للعناصر المعدنية الثقيلة المدروسة تلوث معتدل إلى تلوث كبير، كما أظهرت معدلات قيم عامل التلوث للعناصر المعدنية الثقيلة المدروسة الترتيب الآتي $Cd > Pb > Cu$ ، مما يدل على تلوث معتدل إلى تلوث كبير. كما أوضحت النتائج أن قيمة مؤشر حمولة التلوث (PLI) أكبر من واحد في جميع المواقع المدروسة، مما يدل على دور النشاط البشري في تلوث المنطقة وأن محافظة دير الزور هي تحت عبء التلوث.

الكلمات المفتاحية: الرسوبيات النهرية، التلوث، المعادن الثقيلة (Pb, Cd, Cu)، عامل التلوث (CF)، مؤشر حمولة التلوث (PLI) محافظة دير الزور.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ مساعد - قسم الكيمياء البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** أستاذ قسم الإنتاج الحيواني - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**** طالبة دكتوراه - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة

تُشكل العناصر المعدنية الثقيلة خطراً على البيئة عموماً وعلى صحة الكائنات الحية خصوصاً وذلك بسبب سميتها وانتقالها عبر السلسلة الغذائية، فضلاً عن كونها غير قابلة للتحلل وتوجد في النظم المائية المختلفة المالحة والعذبة (Illuminati et al., 2017; Zhang et al., 2022).

توجد العناصر المعدنية الثقيلة في البيئة المائية إما مذابة في المياه أو مُمتزة على الرواسب وذلك حسب الشكل الكيميائي للعنصر من جهة، والعوامل الهيدروكيميائية المؤثرة (pH، الملوحة، درجة الحرارة) من جهة أخرى (Praveena et al., 2008). تشكل الرواسب جزءاً مهماً من الأنهار والبحيرات، حيث تساهم العديد من العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تتم في المياه (Zhang et al., 2022; Wojtkowska et al., 2022; El Zokm et al., 2015)، إضافة إلى عمليات التحلل الطبيعية للمواد المختلفة وعمليات الحث والتعرية في ازدياد تراكيز العناصر المعدنية لتستقر لاحقاً في الرسوبيات (Zhang et al., 2021; He et al., 2016; Rahman et al., 2014; Ciszewski et al., 2016; Shotbolt et al., 2005).

تتراكم أكثر من 95% من المعادن الثقيلة الموجودة في المسطحات المائية بأشكال مختلفة في الرسوبيات (Zhang et al., 2022; Islam et al., 2015; Abraham et al., 2008)، علماً أن الأنشطة البشرية هي من العوامل الرئيسية المسؤولة عن اختلاف تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات (Lin et al., 2002; Xin et al., 2015).

تلعب حجم الجزيئات والمواد العضوية تأثير هام فيتراكم تلك العناصر في الرسوبيات لدرجة كبيرة (Gundersen et al., 2003; Wang et al., 2008; Breitwieser et al., 2016; Liu et al., 2019; Miao et al., 2022).

تتراكم هذه العناصر في الرسوبيات بكميات مرتفعة مقارنة مع تراكيزها في المياه (Tessier and Campbell, 1988) (Zhang et al., 2022; Krishnan et al., 2022)؛ وتكون زيادة قيم تلك العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات أعلى مما هو عليه (10^3-10^5) مرة، وذلك لكون تلك الرسوبيات تشكل بيئة ملائمة لتراكمها (Morillo et al., 2005).

ازداد الاهتمام العالمي والدراسات والأبحاث التي تناولت تحديد تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة في البيئة عموماً، والرسوبيات خصوصاً بهدف التقييم البيئي من جهة، واقتراح طرائق مناسبة للتخفيف من التلوث وآثاره السلبية من جهة ثانية (Argese et al., 1992; Sfriso et al., 1995; Frignani et al., 1997; Domenico et al., 1998; Li et al., 2006; Adekola and Eletta, 2007; Xin et al., 2015).

هنالك العديد من الدراسات التي تناولت دراسة العناصر المعدنية الثقيلة في الرواسب في العالم عموماً والعراق خصوصاً. قام (AL- Manssory et al., 2004) بدراسة لتقييم مدى التلوث البيئي لرواسب الجزء الشمالي من شط العرب بخمسة من العناصر المعدنية الثقيلة هي الكاديوم والنحاس والنيكل والرصاص والزنك وقد تبين أن منطقة الدراسة شديدة التلوث بعناصر الكاديوم والنيكل والرصاص وذات تلوث معتدل بعنصري النحاس والزنك.

بين (Zhang et al., 2022) بدراسة لتقدير متوسط التراكيز خمس عناصر هي المنغنيز والزنك والكروم والنحاس والرصاص هي 3.14 و 2.33 و 1.39 و 5.79 و 1.33 mg/g على التوالي في رسوب نهر Qinjiang في الصين بالمعادن أعلى من القيم المسموح بها، وأن حالة التلوث في رسوب النهر بالمعادن الثقيلة معتدلة.

يفيد تحديد نزر العناصر المعدنية الثقيلة في النظام المائي في الحصول على معلومات واضحة عن مدى التلوث الحاصل وبالتالي إمكانية السيطرة عليه. واستندت الدراسة الحالية بقائمة المحددات المعتمدة وفقاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 1996) (جدول 1)، ليتم من خلالها التقييم الصحي لتلوث مياه النهر في حافظة ديرالزور.

جدول(1): صلاحية المياه للاستخدام البشري لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 1996).

وحدة القياس	أقصى حد مسموح به	العناصر المعدنية الثلاثة
mg/l	1	Cu
mg/l	0.5	Pb
mg/l	0.02	Cd

تأتي أهمية هذا البحث في تحديد تراكيز بعض العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات الحديثة لنهر الفرات في مناطق مختلفة من حيث الطبيعة الجغرافية ونوع الأنشطة البشرية وذلك للوقوف على مستويات التلوث في البيئة ولإعطاء فكرة أوسع عن جودة المنطقة المدروسة نتيجة قدرتها على الاحتفاظ بالمواد ويمكن عدّها مؤشر بيئي لمراقبة تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة في البيئة والآثار السلبية الناتجة عن ذلك.

أهمية البحث وأهدافه:

تتميز منطقة الدراسة (نهر الفرات - دير الزور، سوريا) بأنها منطقة زراعية وحيوية، حيث تنتشر الزراعات المختلفة هذا بالإضافة لوجود ثروة سمكية فيها. تتأثر المنطقة بمصادر عدة مختلفة للتلوث لاسيما بالعناصر المعدنية الثقيلة نتيجة الأنشطة البشرية المختلفة لاسيما الأنشطة الزراعية والصناعية والنفطية ورمي الفضلات في مجرى النهر. بالنتيجة، الأمر الذي دفع إلى تحديد تراكيز بعض العناصر المعدنية الثقيلة في رسوبيات هذا النهر للوقوف على واقع جودتها من جهة، وإلى تحديد الآثار السلبية الناجمة عن هذا التلوث من جهة ثانية. تم اختيار ثلاث عناصر هم: الرصاص، الكاديوم والنحاس، نظراً لأن كل عنصر منها ينتمي الى مجموعة محددة، فالكاديوم عنصر سريع الحركة، الرصاص بطيء الحركة، بينما النحاس متوسط الحركة (OBASI *et al.*, 2020) هذا وتجلبت أهداف البحث بالآتي:

- تحديد تراكيز بعض العناصر المعدنية الثقيلة (Pb, Cd & Cu) في الرسوبيات الحديثة لنهر الفرات وتقييم مستوى التلوث.
- تأثير الخصائص الفيزيوكيميائية للمياه في تراكم العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة في مياه ورسوبيات نهر الفرات.
- دراسة التغيرات الفصلية والمكانية لتوزيع بعض العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة.

طرائق البحث ومواده:

- منطقة الدراسة

شملت هذه الدراسة مواقع مختلفة على نهر الفرات في محافظة دير الزور ذات أنشطة بشرية مختلفة؛ إذ يعد نهر الفرات من أطول الأنهار السورية، يجري عبر عدد من محافظات القطر، كما يعد شريان الحياة الأساسي لسكان محافظة دير الزور؛ إذ يُعتمد عليه وبصورة أساسية، حيث تتم سقاية المزروعات منه وتأمين المياه اللازمة للشرب والصناعة. تم اختيار ثلاث محطات متوزعة على مجرى النهر في دير الزور (حطلة، حويجة صكر، الرشدية) كما يبين في الشكل (1).



الشكل (1): مواقع الاعتيان المعتمدة للدراسة على مجرى مياه النهر في دير الزور (حطلة، حويجة صكر، الرشدية) .

وصف مواقع الدراسة:

- الموقع الأول حطلة: وهي قرية تقع شرقي محافظة دير الزور، يعمل سكانها بالزراعة وبصيد السمك، تُصرف مياه الصرف الصحي والزراعي مباشرة إلى النهر وبدون معالجة، فضلاً عن رمي النفايات في النهر.
- الموقع الثاني حويجة صكر: تقع شمالي شرقي مدينة دير الزور، تحوي على منشآت ودوائر حكومية ومعامل بسيطة تساهم بتلوث النهر من خلال الصرف الصحي، ورمي النفايات بالنهر.
- الموقع الثالث الرشدية: يقع شمال محافظة دير الزور وأحد أحيائها يساهم بتلوث من خلال الصرف الصحي (المنزلي والصناعي)، ورمي النفايات مباشرة بالنهر دون معالجة.

جدول (2): الإحداثيات الجغرافية لمواقع الاعتيان.

الموقع	دائرة العرض	خط الطول
حطلة	35.1937 N	40.1134 E
حويجة صكر	35.1856 N	40.1033 E
الرشدية	35.2046 N	40.0923E

-الأعمال الحقلية:

- اعتيان العينات:

- جُمعت العينات من المحطات الثلاثة المختارة على امتداد نهر الفرات في محافظة دير الزور. أجريت الجولات الحقلية فصلياً لمدة سنة كاملة ابتداءً من فصل الخريف في عام 2021م ولغاية فصل الصيف في عام 2022م بمعدل 12 عينة فصلية لكل من المياه والرسوبيات وفق الآتي:
- جُمعت 36 عينة من الماء باستخدام عبوات بلاستيكية من البولي إيثيلين سعة (1) لتر على عمق 1 م وبعكس اتجاه التيار، وذلك بعد غسلها جيداً بماء العينة، وملئها بالكامل وإغلاقها بإحكام ووضعها في حاوية مبردة حتى نهاية الجولة الحقلية لتنتقل بعد ذلك إلى المختبر من أجل إجراء التحاليل المختلفة المطلوبة.
- جُمعت 36 عينة رسوبية من مواقع الدراسة وعلى عمق 50 cm باستخدام أسطوانة من البولي فينيل كلورايد (PVC) Polyvinyl Chloride ، ثم وضعت العينات الرسوبية في أكياس مصنعة من مادة البولي

إيثيلين، (Poly Ethylene PE)، نقلت بعدها إلى المختبر، وحفظت في الثلاجة (-18 م) لحين القيام بعملية التهضيم وفق الطرائق المعتمدة عالمياً (IAEA, 2006).

- الأعمال المخبرية

-تحليل العينات المائية

تمّ تحليل عينات المياه باستخدام الطرائق القياسية المعتمدة في مختبرات مديرية الموارد المائية في مدينة دير الزور، وشملت قياس وتقدير الآتي:

- درجة حرارة المياه: قيست حقلياً باستخدام ميزان حرارة زئبقي مدرج من 0-100م° وبدقة 0.1 م°.

- الرقم الهيدروجيني (pH: potential Hydrogen): قيس الرقم الهيدروجيني للماء باستخدام جهاز pH-Meter موديل AE-pH10 وذلك بعد معايرته بالمحاليل المنظمة (Buffer Solution) ذات pH (4، 7، 10).

- الملوحة (S): قيست باستخدام جهاز TDS- Meter موديل HI9835. (ملغ / ل).

-تهضيم العينات الرسوبية

تم تحفيف عينات الرسوبيات عند درجة حرارة 105 °C لمدة 24h حتى ثبات الوزن وذلك للتخلص من الرطوبة. تم أخذ 1g (وزن جاف) من كل عينة ووضعت في أنابيب من البولي برويلين لتهضيمها وفق الطرائق المرجعية المعتمدة عالمياً في مخابر الوكالة الدولية لهيئة الطاقة (IAEA, 2006)، والتي تعتمد على مبدأ تهضيم العينات باستخدام مزيج من الماء الملكي المكون من حمض كلور الماء وحمض الآزوت عالي النقاوة. تترك العينات لمدة ساعة بدرجة حرارة الغرفة ويتم إغلاق أنابيب البولي إيثيلين بلطف (إغلاق غير كامل)، ثم توضع في حمام مائي عند درجة الغليان لمدة أربع ساعات حتى إتمام عملية التهضيم. يضاف إلى كل انبوب 6ml من حمض فلور الماء لإتمام عملية تهضيم العينات تهضيماً تاماً. أضيف بعد ذلك 1g من حمض البوريك (للتخلص من المعقدات التي يمكن أن تؤثر في عملية تحديد نزر العناصر المعدنية الثقيلة). بردت العينات بعد ذلك إلى درجة حرارة الغرفة ومددت بماء ثنائي التقطير إلى الحجم 50ml لتصبح جاهزة للقياس.

-تقدير تراكيز نزر العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة

تم تحديد تراكيز نزرالعناصر المعدنية الثقيلة المدروسة (نحاس، الكاديوم والرصاص) في الرسوبيات النهرية للمناطق المدروسة باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Absorption Atomic Spectrophotometer) موديل (Varian 220) المتوفر في المعهد العالي للبحوث البحرية والذي يعمل بتقانتتي طيف اللهب والتذرية الكهروحرارية وهذا يتعلق بتراكيز العناصر المعدنية المدروسة. تم اعتمد برنامج SPPS في تقييم الفروقات بين المواقع الثلاث المدروسة وفي تفسير النتائج.

كشفت عن تركيز عنصر عن (Cu) باستخدام تقانة (Flame-AAS)، أما نزر العنصرين (Pb, Cd) فكشفت عنها بتقانة التذرية الكهروحرارية (ETA -AAS) باعتبار أن تراكيزها تحت عتبة الكشف بطريقة اللهب، واستخدمت محاليل عيارية، خارجية وطريقة المنحني العياري في عملية معايرة القياسات.

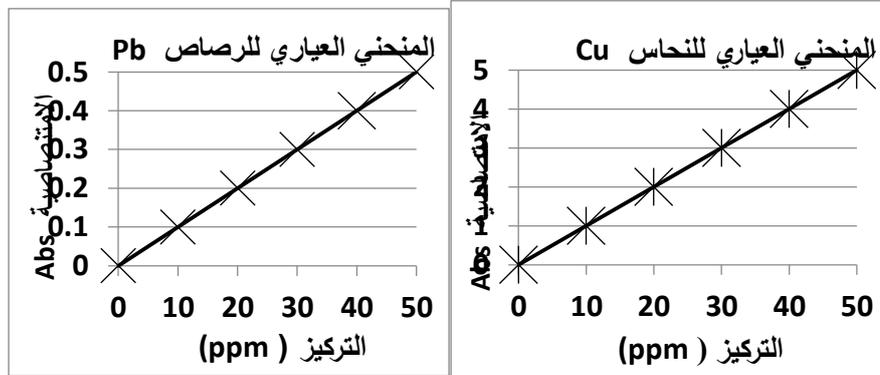
جدول (3) : الشروط الآلية المعتمدة للتحليل على تقانة جهاز الامتصاص الذري باللهب (Flame-AAS).

العنصر	طول الموجة (nm)	فتحة الشق (nm)	نوع اللهب	نوع لمبة المصباح
النحاس	324.8	0.5	هواء-استيلين	HCL

جدول (4) : الشروط الآلية المعتمدة للتحليل على تقنية التذرية الكهروحرارية (ETA - AAS) للخصائص والكادميوم:

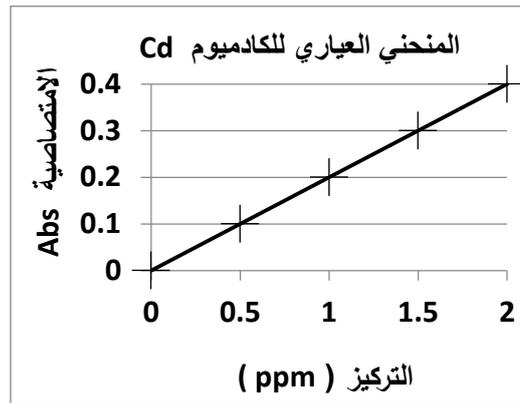
العنصر	طول الموجة (nm)	فتحة الشق (nm)	الغاز الحامل	نوع لمبة المصباح
الخصائص	283.3	1.0	أرغون	HCL
الكادميوم	228.8	1.0	أرغون	HCL

و تبين الأشكال (2-3-4) المنحنيات العيارية لكل من (Cu, Pb, Cd).



الشكل (3): يمثل المنحني العياري لعنصر الخصائص

الشكل (2): يمثل المنحني العياري لعنصر النحاس



الشكل (4): يمثل المنحني العياري لعنصر الكادميوم

-تقييم التلوث البيئي

تمّ من أجل تقييم مستوى تلوث تربة المنطقة استخدام بعض مؤشرات التلوث مثل عامل التلوث ومؤشر حمولة التلوث لتحديد مصدر التلوث فيما إذا كان طبيعي أو بفعل نشاط بشري.

- عامل التلوث (CF) Contamination Factor

يستخدم عامل التلوث لتصنيف مستوى تلوث عينات التربة بالعناصر المعتمدة في الدراسة عن طريق قسمة تركيز كل عنصر في التربة على القيمة المرجعية لذلك العنصر (Chandrasekaran et al., 2015). يتم احتساب عامل التلوث على النحو الآتي:

$$CF = (C_m)_{\text{Sample}} / (C_m)_{\text{Background}} \dots \dots \dots 1$$

حيث $(C_m)_{\text{Sample}}$ هو تركيز عنصر معين في التربة، و $(C_m)_{\text{Background}}$ هو تركيز العنصر نفسه في القشرة الأرضية، وتستخدم المصطلحات الآتية لوصف عامل التلوث: $1 > CF > 0.5$ عامل تلوث منخفض، $3 > CF > 1$ تلوث معتدل، $6 > CF > 3$ عامل تلوث كبير، $CF > 6$ عامل تلوث عالي جداً (Rahman et al., 2012).

- مؤشر حمولة التلوث (PLI) Pollution Load Index

يُعبّر مؤشر حمولة التلوث عن مدى حالة تلوثاً لموقع والإجراءات اللازمة التي ينبغي اتخاذها، وقد وضع من قبل (Tomlinson *et al.*, 1980). عندما تكون قيمة $PLI < 1$ يعني أن التربة ملوثة، في حين $PLI > 1$ تشير إلى عدم وجود تلوث. يعبر عن هذا المتغير على النحو الآتي:

$$PLI = (CF_1 * CF_2 * CF_3 * \dots * CF_n)^{1/n} \dots \dots \dots 2$$

حيث n هي عدد العناصر.

النتائج والمناقشة

- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه:

- درجة حرارة الماء

تراوحت درجة حرارة الماء في مياه نهر الفرات بين 13 و 28.7م°، وبلغ متوسطها السنوي 22.9 ± 6.9 م°. تميزت درجة حرارة الماء بتقارب كبير في محطات الدراسة الثلاث وأظهرت تغيرات فصلية واضحة تماماً، الشكل (5).

وتبين من خلال التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين فصول الدراسة فقط ولم تسجل بين المحطات وكان هناك ارتباط معنوي سالب بين درجة حرارة الماء والأس الهيدروجيني والملوحة ($p < 0.05$).

- الأس الهيدروجيني

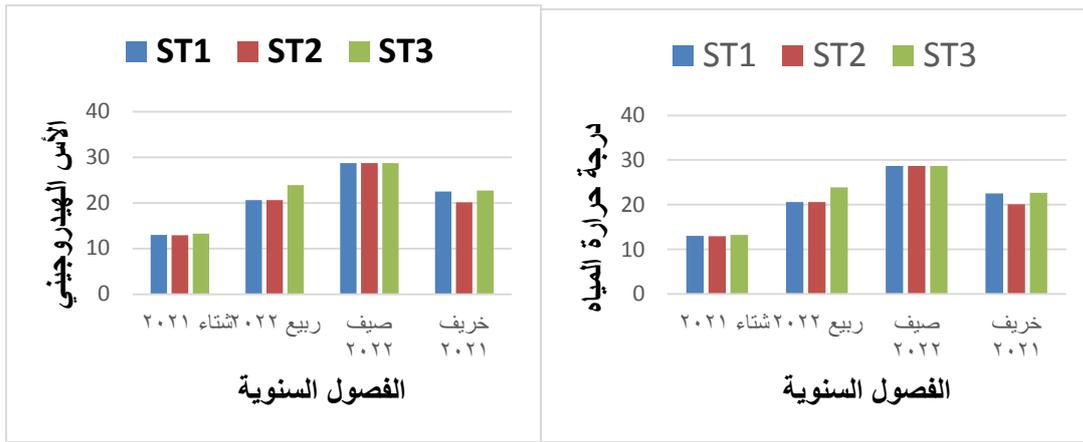
تراوحت قيم pH مياه نهر الفرات بين 7.6 و 8.7، والمتوسط السنوي لها 7.77 ± 0.64 كما في الشكل (6)، ما يعكس الطبيعة القاعدية الخفيفة لمياه النهر والذي يمكن أن يعزى إلى سيادة أيونات الكربونات والبيكربونات (APHA, 1998). تتعلق قيمة pH بالعديد من العوامل لاسيما حمولة المياه من المواد العضوية والهطول المطري والتلوث وغيرها

تبين من خلال التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية للأس الهيدروجيني بين فصول السنة ومواقع الدراسة كذلك وجدت علاقة ارتباط معنوي موجب بين الأس الهيدروجيني والملوحة ($p < 0.05$).

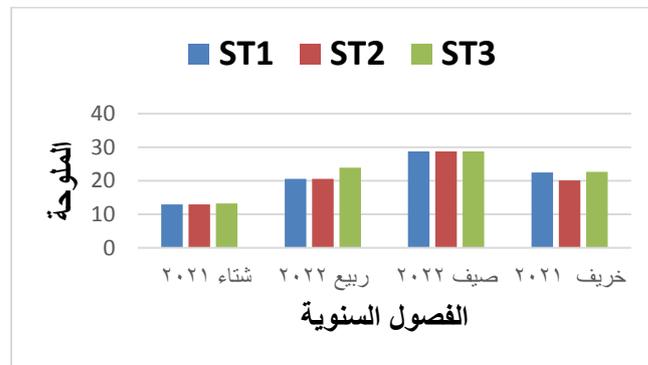
- الملوحة

تراوحت درجة الملوحة في مياه نهر الفرات بين 82.9, 67.0 ملغ/ل، والمتوسط السنوي لها 37.42 ± 1.12 ملغ/ل. وأظهرت قيمة لملوحة ارتفاعاً نسبياً في فصلي الصيف والخريف وانخفاضاً في فصلي الشتاء والربيع خلال مدة الدراسة كما في الشكل (7). يفسر ارتفاع قيمة لملوحة خلال الفصول الحارة من السنة إلى انخفاضها وانخفاضاً في فصلي الصيف والخريف، فضلاً عن ارتفاع قيم درجات الحرارة والتي تترافق بارتفاع معدلات التبخر.

وتبين من خلال التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين الفصول وعدم وجودها بين مواقع الدراسة ولوحظت علاقة ارتباط معنوي موجب بين الملوحة والأس الهيدروجيني وارتباط معنوي سالب مع درجة حرارة الماء ($p < 0.05$).



الشكل (5) التغيرات الفصلية في قيم درجة حرارة الماء شكل (6) التغيرات الفصلية في قيم الأس الهيدروجيني



الشكل (7) التغيرات الفصلية في قيم درجة ملوحة المياه

نزر العناصر المعدنية الثقيلة في المياه Trace heavy elements in water

بيّنت النتائج المتحصل عليها أن أعلى قيمة لتركيز عنصر الرصاص في المياه كانت في موقع محطة خلال فصل الخريف (0.09 mg/l) في حين كانت تراكيزه منخفضة جداً وشبه معدومة خلال فصل الشتاء الجدول (5)، وبلغت قيمته المتوسطة (0.04 mg/l) في فصلي الربيع والصيف. وتبين النتائج أن تراكيز هذا العنصر في المواقع الثلاث المدروسة أعلى من التراكيز المسموح بها في المياه وفقاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO) والمقدرة بـ (0.01 mg/l) (Mi et al., 2015).

سُجل أعلى قيمة لتركيز عنصر النحاس في المياه في موقع محطة خلال فصلي الصيف والخريف في موقع محطة خلال فصلي الصيف والخريف (1.94 mg/l)، في حين سجلت أدنى قيمة (1.35 mg/l) خلال فصل الشتاء، وبلغ المعدل العام (1.59 mg/l) الجدول (5)، ووفقاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO) يتضح أن تراكيز عنصر النحاس في المياه وفق الدراسة الحالية كانت أدنى من التراكيز المسموح بها والمقدرة بـ (2 mg/l) (Mi et al., 2015).

أظهرت النتائج أن أعلى قيمة لتركيز الكاديوم في المياه (0.09 mg/l) في محطة محطة في فصل الشتاء، بينما كانت تراكيزه منخفضة جداً في فصل الصيف وكافة المواقع. وسُجلت كقيمة وسطية (0.05 mg/l) الجدول (5)، واعتماداً على قيم منظمة الصحة العالمية (WHO)، فإن تراكيز عنصر الكاديوم في هذه الدراسة أدنى من التراكيز المسموح بها والمقدرة بـ (0.03 mg/l) (Mi et al., 2015).

جدول (5) تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة (mg/l) في مياه نهر الفرات
ST1 حطلة، ST2 حويجة صكر، ST3 الرشدية

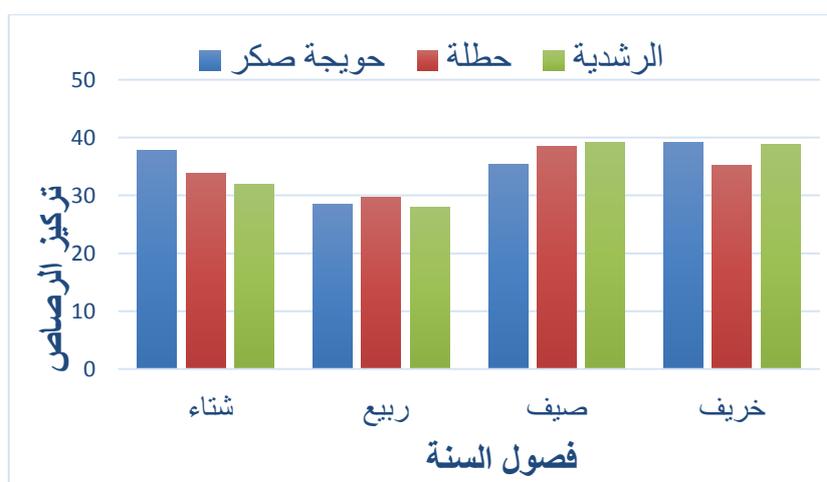
التركيز	فصل الشتاء			فصل الربيع			فصل الصيف			فصل الخريف			المتوسط
	الموقع	ST1	ST2	ST3	ST1	ST2	ST3	ST1	ST2	ST3	ST1	ST2	
رصاص	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.09	0.07	0.07	0.04
نحاس	1.4	1.35	1.36	1.55	1.4	1.45	1.94	1.65	1.74	1.94	1.65	1.65	1.59
كاديوم	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05

يتضح مما سبق ارتفاع تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة الثلاثة في فصلي الربيع والخريف في المياه عموماً عما هي عليه في فصلي الشتاء والخريف في جميع المواقع، ويعزى ارتفاع تراكيز هذه العناصر خلال فصل الصيف والخريف مقارنة بباقي الفصول الى انخفاض غزارة النهر وحدوث تبخر وبالتالي ارتفاع تركيز العناصر في الفصل الجاف مقارنة بباقي فصول السنة، بينما كانت أقل التراكيز في فصل الشتاء في مياه المواقع الثلاث المدروسة نتيجة ازدياد غزارة النهر والهطولات المطرية.

العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات النهرية:

نزر عنصر الرصاص pb:

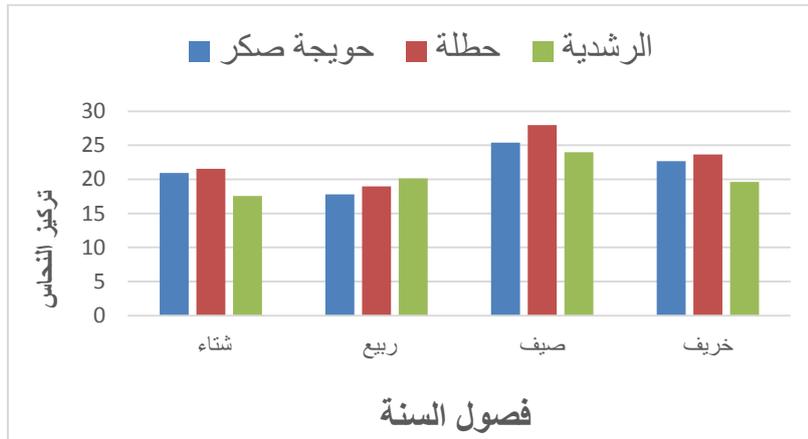
تراوحت تراكيز نزر عنصر الرصاص في الرسوبيات النهرية ما بين (27.933 mg/g) في فصل الربيع لموقع الرشدية و(39.185 mg/g) كحد أعلى في فصل الخريف لموقع حويجة صكر المتأثر بمياه الصرف الصحي الشكل (8). أظهر التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بتراكيز عنصر الرصاص بين فصول السنة من جهة، وبين المواقع المدروسة من جهة ثانية؛ إذ حَقَّق موقع حويجة صكر أعلى متوسط لتركيز نزر عنصر الرصاص وبفارق معنوي عن جميع المواقع والفصول وتلاه موقع الرشدية ومن ثمّ موقع حطلة (39.185 mg/g, 38.742 mg/g, 38.548 mg/g على التوالي)، وأظهر عنصر الرصاص ارتباط معنوي سالب مع درجة حرارة المياه، وارتباط معنوي موجب مع الملوحة ($p > 0.05$).



الشكل (8): التغيرات الفصلية في تراكيز نزر عنصر الرصاص (mg/g) في رسوبيات المواقع المدروسة (خلال مدة الدراسة)

نزر عنصر النحاس Cu

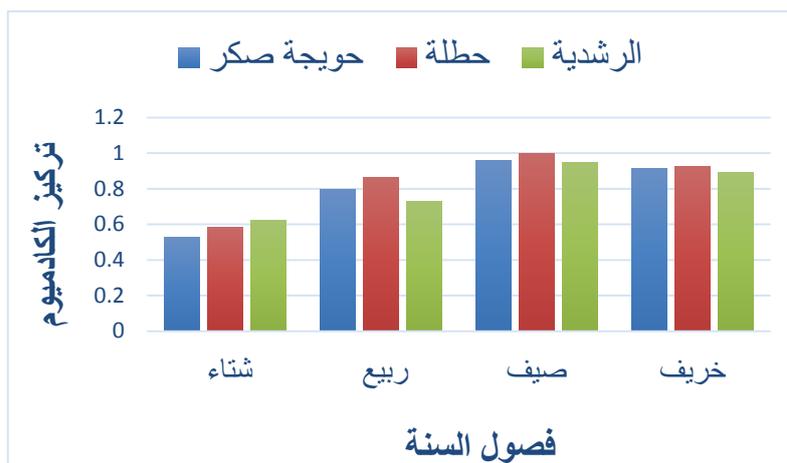
تراوحت تراكيز نزر عنصر النحاس في الرسوبيات النهرية ما بين (17.582mg/g) كحد أدنى خلال فصل الشتاء لموقع الرشدية و (27.954 mg/g) كحد أعلى خلال فصل الصيف لموقع حطلة (الشكل 9). بين التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بتراكيز عنصر النحاس بين فصول السنة وما بين المواقع المدروسة؛ إذ حقق موقع حطلة أعلى متوسط لتركيز نزر عنصر النحاس وبفارق معنوي على جميع المواقع والفصول وتلاه موقع حويجة صكر ومن ثم موقع الرشدية (23.966 mg/g, 25.383 mg/g, 27.954 mg/g) على التوالي، ووجد ارتباط عنصر النحاس ارتباط معنوي موجب مع درجة حرارة المياه وارتباط سالب غير معنوي مع الملوحة ($p > 0.05$).



الشكل (9): التغيرات الفصلية في تراكيز نزر عنصر النحاس mg/g في رسوبيات المواقع المدروسة (خلال مدة الدراسة)

تراكيز نزر عنصر الكاديوم Cd

تراوح تراكيز نزر عنصر الكاديوم في الرسوبيات النهرية ما بين (0.527 mg/g) كحد أدنى خلال فصل الشتاء لموقع حويجة صكر و (0.995 mg/g) كحد أعلى خلال فصل الصيف لموقع حطلة (الشكل 10). أظهر التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بتراكيز عنصر الكاديوم بين فصول السنة وما بين المواقع المدروسة إذ حقق موقع حطلة أعلى متوسط لتركيز نزر الكاديوم وبفارق معنوي على جميع المواقع والفصول وتلاه موقع حويجة صكر والرشدية في فصل الصيف (0.95 mg/g-0.96 mg/g-0.99 mg/g) ، وبلغت أدنى قيمة لمتوسط تركيز نزر عنصر الكاديوم في الرسوبيات النهرية في موقع حويجة صكر وحطلة في الشتاء (0.53 mg/g, 0.58 mg/g) على التوالي، وبفارق معنوي عن بقية المواقع والفصول الأخرى، ولوحظ ارتباط تراكيز عنصر الكاديوم ارتباط معنوي موجب مع درجة حرارة مياه النهر وارتباط سالب معنوي مع درجة الملوحة ($p > 0.05$).



الشكل (10) التغيرات الفصلية في تراكيز نزر عنصر الكاديوم mg/g في رسوبيات المواقع المدروسة (خلال مدة الدراسة).

يتضح من نتائج البحث الحالي أن تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة، كانت أقل من الحدود القصوى المسموح بها من قبل المنظمات الدولية في المياه. لُحظ وجود تباين في تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة بين فصول السنة الذي قد يعزى إلى التباين في خصائص الماء ومحتوياته من المركبات العضوية وغير العضوية والملوثات وبسبب عامل التخفيف للمياه (سرعة تدفق وجريان النهر) وإلى اختلاف الأنشطة البشرية (مياه صرف صحي ونشاط زراعي). بينت النتائج ارتفاع تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة الثلاثة المدروسة في كلاً من المياه والرسوبيات النهرية عموماً في فصلي الخريف والصيف عنها في فصلي الشتاء والربيع في جميع المواقع. يمكن أن يعزى ذلك إلى الاختلاف في معدل درجات الحرارة، سرعة تدفق النهر وتغير الخواص الهيدروكيميائية للمياه الأمر الذي ساهم في ارتفاع تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة في الرسوبيات مقارنة مع تراكيزها في المياه، فضلاً عن ازدياد الأنشطة البشرية وكثافتها في فصل الصيف وتناقصها في فصل الشتاء.

أظهرت الدراسة الحالية وجود تراكيز متفاوتة بين العناصر المعدنية الثقيلة المدروسة في الرسوبيات بين فصول السنة في الموقع الواحد وبين المواقع المختلفة، ويُمكن أن يعزى سبب ذلك إلى تغير طبيعة الرسوبيات وإلى نوعية الأنشطة البشرية وتغير الخواص الهيدروكيميائية للمياه.

وبمقارنة الدراسة الحالية بالدراسات المحلية الأخرى (6)، نلاحظ أن تراكيز العناصر في الرواسب كانت أقل من تلك التي وجدت في دراسة (الغانمي، 2011)، باستثناء لعنصر الرصاص فقد كانت أعلى وأقل لعنصر النحاس وبالمقارنة مع الدراسة (أكبر وخزعلي، 2012)، كانت تراكيز العناصر في الدراسة الحالية أعلى، وبالمقارنة مع الدراسة (عقيل، 2014)، كانت تراكيز العناصر الحالية أقل، باستثناء الكاديوم.

جدول (6) مقارنة بين معدلات تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة في الرسوبيات (mg/g) مع دراسات أخرى.

المصادر	القيم المتوسطة لتراكيز العناصر المعدنية			الموقع
	Cd	Cu	Pb	
الغانمي، (2011)	-	32.5	0.35	نهر الفرات، العراق
أكبر والخزعلي، (2012)	0.87	26	24.4	نهر الفرات، العراق
عقيل (2014)	0.47	30.27	40.11	جدول بني حسن، العراق
الدراسة الحالية	0.81	21.68	34.65	نهر الفرات - محافظة ديالى

ويُمكن تفسير هذا التفاوت في تراكيز العناصر بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة على مناطق مختلفة من نهر الفرات على أساس الطرق التحليلية للرواسب التي أتبعها الباحثون في فصل واستخلاص المعادن الثقيلة من الرواسب وكذلك درجة تحسس الأجهزة المستخدمة كالمطياف الذري، وهذا الاستنتاج يتفق مع دراسة (YongSung *et al.*, 2006).

-تقييم درجة تلوث رسوبيات نهر الفرات في محافظة دير الزور

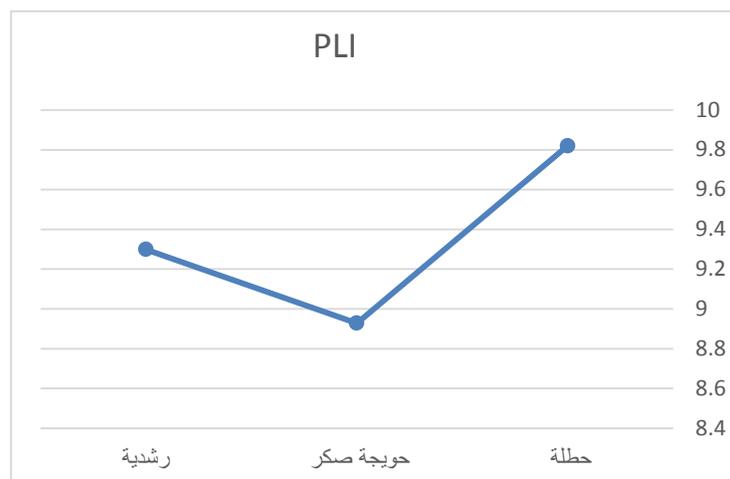
تم تقييم درجة التلوث في رواسب نهر لعناصر (رصاص والنحاس والكاديوم) من خلال حساب عامل التلوث (CF) ومؤشر حمولة التلوث (PLI)، ودلت قيم CF للعناصر المعدنية الثقيلة المدروسة على تلوث معتدل إلى تلوث كبير كما مبين في شكل (11). تظهر معدلات قيم عامل التلوث للعناصر في تربة منطقة الدراسة الترتيب الآتي $Cd > Pb > Cu$. تُعدّ وفقاً لذلك جميع عينات المواقع المدروسة ملوثة بعنصر الكاديوم، حيث تقع جميع هذه العينات ضمن فئة تلوث كبير كما هو موضح في جدول (7)، مما يرجح أن مصدر الكاديوم من مدخلات صناعية، كما تُعدّ المناطق ملوثة بالرصاص وتقع ضمن فئة تلوث معتدل كما موضح في شكل (11)، مما يدل على التأثير البشري في زيادة تراكيز الرصاص في التربة عن طريق انبعاثات المركبات أو المخلفات النفطية، وفيما يتعلق بمؤشر حمولة التلوث (PLI) كانت قيمته أكبر من واحد في جميع المواقع المدروسة شكل (9)، مما يدل على أن محافظة دير الزور هي تحت عبء التلوث.

جدول (7):مدى ومعدل قيمة عامل التلوث CF للعناصر في رسوبيات نهر الفرات

الفئة	قيمة عامل التلوث CF		العنصر
	المعدل	المدى	
عامل تلوث معتدل	1.5	2.8-2	Pb
عامل تلوث معتدل	0.7	0.32-0.51	Cu
عامل تلوث كبير	5.9	7.71-4.08	Cd



الشكل (11):قيم عامل التلوث CF في رسوبيات نهر الفرات



الشكل(12): قيم مؤشر حمولة التلوث PLI في رسوبيات نهر الفرات

الاستنتاجات والتوصيات :

-الاستنتاجات:

- 1- أُلحظ ارتفاع تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة الثلاثة في رسوبيات موقع حطلة بالمقارنة مع بقية المواقع المدروسة.
- 2- يمكن عدّ الرسوبيات كمؤشر كامن للتلوث في البيئة المائية وتُعطي فكرة أوضح عن جودة المنطقة المدروسة بيئياً .
- 3- بينت النتائج تغيرات فصلية واضحة لتراكيز العناصر المعدنية المدروسة في الرسوبيات، حيث سجلت أعلى التراكيز في فصلي الصيف والخريف مقارنة مع فصلي الشتاء والرّبيع.
- 4- أظهرت قيمة مؤشر عامل التلوث قيمة عالية للكاديوم وفي جميع المواقع. كما ارتفعت قيمة مؤشر حمولة التلوث وكانت أكبر من 1 ولجميع المواقع مما يدل على دور النشاط البشري في تلوث المنطقة.

-التوصيات:

- تحديد تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة في البيئة المائية لنهر الفرات (أحياء نباتية وحيوانية)، مياه ورسوبيات) للوقوف على عملية انتقال هذه العناصر عبر السلسلة الغذائية وبذلك لما تشكله من خطر على البيئة والإنسان.
- الاستمرار في مثل هذه الدراسات في مواقع أخرى على طول مجرى النهر للوقوف على واقع جودة المناطق المدروسة واقتراح الحلول المناسبة للتخفيف من التلوث وطرق معالجته في حال وجد.

References:

- أكبر، منال محمد والخزعلي، زهر محمد غالي (2012). تقدير تراكيز العناصر الثقيلة في مياه ورواسب نهر الغراف - ذي قار. مجلة علوم ذي قار، 3(3): 30-42.
- Akbar, Manal Muhammad al-Khazali, Azhar Muhammad Ghali (2012). Estimating the concentrations of heavy metals in the water and sediments of the Gharraf River - Dhi Qar. Dhi Qar Science Journal, 3(3): 30-42.
- الشريفي، عقيل عباس حمد (2014). التلوث المحتمل لبعض العناصر الثقيلة وبعض العوامل البيئية لمياه جدول بني حسن في محافظة كربلاء المقدسة-العراق. بكلوريوس علوم حياة. كلية التربية للعلوم الصرفة-جامعة كربلاء. العراق.
- Al-Sharifi, Aqeel Abbas Hamad (2014). Possible contamination of some heavy elements and some environmental factors of the water of the Bani Hassan stream in the Holy Governorate of Karbala - Iraq. Bachelor's degree in Life Sciences. College of Education for Pure Sciences - University of Karbala. Iraq.
- الغانمي، حسين علاوي حسين (2011). استخدام النباتات المائية أدلة حياتية على التلوث بالعناصر الثقيلة في نهر الفرات - العراق. رسالة ماجستير. كلية العلوم - جامعة بابل. العراق.
- Al-Ghanimi, Hussein Allawi Hussein (2011). The use of aquatic plants is biological evidence of heavy metal pollution in the Euphrates River - Iraq. Master's thesis. College of Science - University of Babylon. Iraq.
1. ABRAHIM, G.M.S.; PARKER, R.J. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ. Monit. Assess. (2008), 136, 227-238.
 2. ADEKOLA, F. A. and ELETTA, O. A. A. study of heavy metal pollution of Asa River, Ilorin, Nigeria; Trace metal monitoring and geochemistry. Environmenta Monitoring Assessment.(2007), 125, 157-163.
 3. APHA. Standard Methods for the examination of water and waste water. 17th Edition. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Published by the American Public Health Association, Washington. (1998). DC, USA.
 4. ARGESE, E., ; COGONI, G., ; ZAGGIA, L., ; ZONTA, R., ; PINI, R. Study on redox State and grain size of sediments in a mud flat of the Venice Lagoon. Envir on. Geol. (1992), VOL. 20, 35 -42.
 5. BREITWIESER, M., ; VIRICEL, A., ; GRABER, M., ; MURILLO, L., ; BECQUET, V., ; CHURLAUD, C., ; FRUITIER-ARNAUDIN, I., ; HUET, V., ; LACROIX, C., ; PANTE, E., ; FLOCH, S., ; THOMAS-GUYON, H. Short-Term and Long-Term Biological Effects of Chronic Chemical Contamination on Natural Populations of a Marine Bivalve. journal. pone. (2016), 150184 - 150184.
 6. Chandrasekaran A, Ravisankar R, Harikrishnan N, Satapathy K.K, Prasad M.V.R, and Kanagasabapathy K.V, (2015). "Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India – Spectroscopical approach". Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, Elsevier.
 7. CISZEWSKI, D.; GRYGAR, T.M. A Review of Flood-Related Storage and Remobilization of Heavy Metal Pollutants in River Systems. Water Air Soil Pollut. (2016), 227, 239.
 8. DOMENICO, A., ; TURRIO BALDASSARRI, L., ; ZIEMAKI, G., ; DE FELIP, E., ; LA ROCCA, C., ; FERRARI, G., ; CARDELLI, M., ; FERRI, F., ; IACOVELLA, N., ; LUPI, C., ; RODRIGUEZ, F., ; D'AGOSTINO, O., ; SANSONI, R., ; SETTIMO, G. Organohalogen Compounds .(1998), 39, 205 -210.

9. El Zokm, G.M.; OKBAH, M.A.; YOUNIS, A.M. Assessment of heavy metals pollution using AVS-SEM and fractionation techniques in Edku Lagoon sediments, Mediterranean Sea, Egypt. *J. Environ. Sci. Health, Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* (2015), 50, 571–584
10. -FAO/WHO (2003). water quality assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2nd .ed. Press, UK.
11. FRIGNANI, M., ; BELLUCCI L., ; LANGONE, L., MUNTAU, H. Metal fluxes to the sediments of the northern Venice Lagoon. *Mar . Chem.* (1997), VOL. 58, 275 –292.
12. Gundersen, P.; STEINNES, E. Influence of pH and OM concentration on Cu, Zn, Cd, and Al speciation in rivers. *Water Res.* (2003), 37, 307–318.
13. HE, N.; LIU, L.; Wei, R.; SUN, K. Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk Assessment in a Typical Mariculture Area in Western Guangdong. *Int. J. Environ. Res. Public Health* (2021), 18, 11245.
14. ILLUMINATI S., ANNIBALD. A, ROMAGNOLI. T, LIBANI. G, ANTONUCCI. M, SCARPONI G, TOTTI. C , TRUZZI. C. DISTRIBUTION OF CD, PB AND CU BETWEEN DISSOLVED FRACTION, INORGANIC PARTICULATE AND PHYTOPLANKTON IN SEAWATER OF TERRA NOVA BAY (ROSS SEA, ANTARCTICA) DURING AUSTRAL SUMMER 2011-12. *CHEMOSPHERE*, 185 (2017), 1122-1135.
15. ISLAM, M.S.; AHMED, M.K.; RAKNUZZAMAN, M.; HABIBULLAH-AI-MAMUN, M.; ISLAM, M.K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol. Indic.* (2015), 48, 282–291.
16. IAEA. LABORATORY PROCEDURE BOOK. Marine Environment Laboratory, Monaco. 2006, PP: 1- 45
17. KRISHNAN, K.; SAION, E.; YAP, CH.; BALU, P.; WAN, H.; CHONG, M. DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN SEDIMENTS AND SOFT TISSUES OF THE CERITHIDEA OBTUSA FROM SEPANG RIVER, MALAYSIA. *INDONES. J. CHEM.*, (2022), 22 (4), 1070 – 1080.
18. LI, Y., YU, Z., SONG, X. and MU, Q.,. Trace metal concentrations in suspended particles, sediments and clams from Jiaozhou Bay of China. *Environmental Monitoring and Assessment.*(2006), 121, 491–501.
19. LIN, S., ; HSIEH, I. J., ; HUANG, K. M., ; WANG, C. H. Influence of the Yangtze River and grain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments. *Chem. Geol.* (2002), 182,;377–394.
20. Liu, M.; CHEN, J.; SUN, X.; HU, Z.; FAN, D. Accumulation and transformation of heavy metals in surface sediments from the Yangtze River estuary to the East China Sea shelf. *Environ. Pollut.* (2019), 245, 111–121.
21. MI, F.-L.; WU, S.-J.; LIN, F.-M. Adsorption of copper(II) ions by a chitosan–oxalate complex biosorbent. *Int. J. Biol. Macromol.* (2015), 72, 136–144.
22. MIAO, X.; SONG, M.; XU, G.; HAO, Y.; ZHANG, H. The Accumulation And Transformation Of Heavy Metals In Sediments Of Liujiang River Basin In Southern China And Their Threatening On Water Security. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*(2022), 19– 1619.
23. MORILLO, J., ; USERO, J., ; GRACIA, I. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere.* (2005), 55, 431–442.
24. OBASI, P.N.; AKUDINOBI, B.B. Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead–zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. *Appl. Water Sci.* (2020), 10, 184.
25. PRAVEENA, S. M.; AHMED, A.; RADOJEVIC, M.; ABDULLAH, M. H.; ARIS, A. Z. Heavy metals in mangrove surface sediment of Mengkabong Lagoon, Sabah: Multi-variate and Geo-accumulation Index approaches. *Int.J.Environ.Res.*,2. (2008), 139–148.

26. Rahman S.H, Khanam D, Adyel T.M, Islam M.S, Ahsan M.A, and Akbor M.A., "Assessment of Heavy Metal Contamination of Agricultural Soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of Seasonal Variation and Indices" *Appl. Sci.*, (2012), 2, 584-601.
27. RAHMAN, M.S.; SAHA, N.; MOLLA, A.H. Potential ecological risk assessment of heavy metal contamination in sediment and water body around Dhaka export processing zone, Bangladesh. *Environ. Earth Sci.* (2014), 71, 2293–2308.
28. SFRISO, A., ; MARCOMINI A., ; ZANETTE M. Heavy metals in sediments, SPM and phyto-benthos of the Lagoon of Venice. *Mar .Pollut. . Bull.* (1995), VOL. 30, PP: 116 –124.
29. SHOTBOLT, L.A.; THOMAS, A.D.; HUTCHINSON, S.M. The use of reservoir sediments as environmental archives of catchment inputs and atmospheric pollution. *Prog. Phys. Geog.* (2005), 29, 337–361.
30. TESSIER, A. & CAMPBELL, P. G. C. Partitioning of trace metals in sediments, In: *Metal Speciation: Theory, Analysis and Application*, J. R. Kramer & H.E. Allen (Eds.).(1988), 183-199.
31. Tomlinson, D.C., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W., (1980) Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index.
32. WANG, Q.; DING, M.; ZHANG, Z.; JIANG, X.; JIN, X.; XU, Z. Seasonal varieties and influential factors of heavy metals in sediments of Taihu Lake. *Ecol. Environ.* (2008), 17, 1362–1368.
33. WHO. (1996). World Health Organization on Heavy metals environmental aspects, 1989. Environment health criteria. No. 85. Geneva, Switzerland.
34. WOJTKOWSKA, M.; BOGACKI, J. Assessment of Trace Metals Contamination, Species Distribution and Mobility in River Sediments Using EDTA Extraction. *Int. J. Environ. Res. Public Health* (2022), 19, 69-78.
35. Helgoland Marine Research, 33, 566-575.
36. XIN, C., ; HUIZHEN, L., ; JING, Y. Joint toxicity of sediment-associated permethrin and cadmium to *Chironomus dilutus*: The role of bioavailability and enzymatic activities, *Environmental Pollution*, (2015), 207, 138-144.
37. YONGSUNG, K. ; MYOUNG, H.O.; SUNYOUNG, B.; AND JUNBOUM, P. MONITORING HEAVY METAL TRANSPORT IN AQUIFER BASED ON ELECTRICAL PROPERTY MEASUREMENTS. *JOURNAL OF ASTM INTERNATIONAL* .(2006), 3(7).
38. ZHANG, S.; CHEN, B.; DU, J.; WANG, T.; SHI, H.; WANG, F. DISTRIBUTION, ASSESSMENT, AND SOURCE OF HEAVY METALS IN SEDIMENTS OF THE QINJIANG RIVER, CHINA. *INT. J. ENVIRON. RES. PUBLIC HEALTH.*(2022), 19, 1933–1940.

