Iraqi National Journal of Earth Science

www.earth.mosuljournals.com

تقييم التلوث البيئي لرواسب خزانات سدود مختارة في العراق

منال سمير قادر*، محمود فاضل عبد[2]، خالد احمد عبدالله[3]

[1،2،3] قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 16- فبراير -2023

تاريخ المراجعة: 22- يونيو-2023

تاريخ القبول: 30- يوليو -2023

تاريخ النشر الالكتروني: 01- يناير -2024

الكلمات المفتاحية:

العناصر الثقيلة

الرسوبيات

التلوث البيئي

عامل الاغناء

خزانات سدود

المراسلة:

الاسم: منال سمير قادر

Email: mnalsamir376@gmail.com

الملخص

توجد العناصر الثقيلة في الرواسب والترب نتيجة عمليات التعرية والنقل والترسيب، ويزداد تركيز هذه العناصر نتيجة الانشطة المدنية والصناعية والزراعية. شملت هذه الدراسة معرفة محتوى الرواسب لثلاث وعشرين عنصراً (Al, Fe, Zn, Ni, Sr, Ba, V, Co, Cr, Mn, As, Mo, U, Pb, Cu, Rb, Sn, Sb, Ag, Cd, Bi, Tl, Se)) في خزانات السدود المختارة للكشف عن التلوث المحتمل للرواسب بهذه العناصر. استخلصت العناصر الثقيلة بالطرق القياسية باستخدام تقنية البلازما مزدوجة الحث–قياس الطيف الكتلي. اذ تم انتخاب تسع نماذج وبواقع ثلاث نماذج من خزان كل سد لغرض تقييم التلوث البيئي الحاصل فيها وفق مؤشرات التلوث المتمثلة بعامل الاغناء (EF) ، ومؤشر الخطر البيئي (SPI) ومؤشر تراكم الرسوبيات (Er). اذ كانت اعلى قيم لعامل الاغناء (EF) في رواسب خزان سدة سامراء و خزان سد الوند و خزان سد مندلي للعناصر (Mo,Cd,Bi,AL,U) ((Mo, Cd, Bi, Al, As, U Sr, Mo, Cd, Sb,, Bi, (U ومؤشر تلوث (Er) على التوالي . فيما أشارت نتائج مؤشر الخطر البيئي (SPI) الى وجود تلوث عالٍ بعنصر الكادميوم. ويعزى السبب الى طبيعة الرواسب التي تحتوي على نسب لا بأس بها من هذه العناصر فضلا عن تأثير الحجم الحبيبي ونسبة المواد العضوية والظروف المناخية، او الى الأنشطة البشرية المتمثلة بالأسمدة الفوسفاتية والعضوية والمبيدات الحشرية او الى التلوث الاشعاعي من مخلفات الاسلحة الحربية والمخلفات الصناعية ومن أنشطة التعدين وحرق المنتجات النفطية.

بينت مؤشرات التلوث من خلال النتائج المستحصلة أن مصدر العناصر الثقيلة في رواسب خزانات السدود المختارة كانت بفعل التأثيرات البشرية.

DOI: 10.33899/earth.2023.138382.1044, ©Authors, 2024, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Environmental Pollution Assessment of Selected Dam Reservoir Sediments in Iraq

Manal S. Qadir [1*], Mahmood F. Abed [2], Khaled A. Al-hadad [3]

[1,2,3] *Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.*

Article information

Received: 16- Feb -2023

Revised: 22- -June -2023

Accepted: 30- Jul -2023

Available online: 01- Jan – 2024

Keywords:
Heavy Elements
Sediments
Environmental Pollution
Eenrichment Factor
Rreservoirs Dam

Correspondence:
Name: Manal S. Qadir

Email: mnalsamir376@gmail.com

ABSTRACT

Heavy metals are present in sediments and soils as a result of erosion, transportation and sedimentation processes, and the concentration of these elements increases as a result of human civil, agricultural and industrial activities. This study includes an assessment of the level of pollutant concentrations of heavy metals for twenty-three elements (Al, Fe, Mn, Cr, V, Ba, Sr, Ni, Zn, Co, Rb, Cu, Pb, U, Mo, As, Sn, Cd, Ag, Sb, TI, Bi, and Se) in the sediments of selected dam reservoirs. Heavy metals are extracted by standard methods and measurements using ICP-MC. Nine samples are collected (three samples from each reservoir) for the purpose of evaluating the environmental pollution has been occurredaccording to the pollution indicators represented by (EF, SPI, and Er). The highest values of the enrichment factor (EF) in the sediments of reservoir dam are for the elements (Mo, Cd, Bi, AI, and U) (As, Mo, Cd, Bi, AI, and U) (Sr, Mo, Cd, Sb, Bi, and U) respectively. While the results of the (Er) and the (SPI) indicate a high level of (Cd). It is attributed to the nature of the sediments that contain percentages of these elements, as well as the influence of the particle size, the proportion of organic materials, the climatic conditions, the location of the tourism activities that are used in the neighboring agricultural lands, or their source of radioactive contamination from the remnants of military weapons, industrial waste, oil visits, and crude oil. The results of the pollution indicators show that the source of the heavy elements for the sediment of the selected dam reservoirs was due to human influences.

DOI: 10.33899/earth.2023.138382.1044, ©Authors, 2024, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

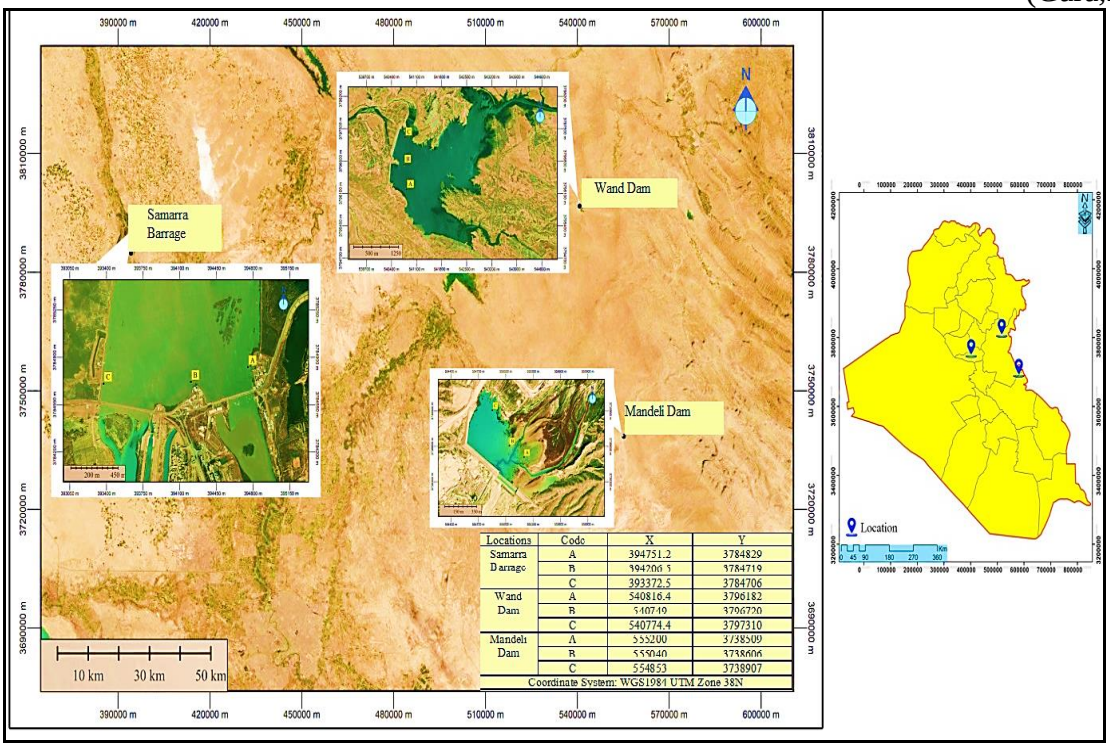
تمثل الرواسب جزءاً اساسياً من النظام البيئي المائي الذي تشغله، وتلعب هذه الرواسب دوراً مهماً في سلامة البيئة المائية وتأثيرها البيئي، وذلك بسبب الاثار البيئية التي تخلفها العناصر الثقيلة في الرواسب والمياه، مما زاد اهتمام الهيئات والمنظمات بالحد من المخاطر الصحية .(Deng et al., 2020) أذ تبين من خلال الدراسات المتعلقة بالعناصر النادرة في عدة مناطق من العالم أن أصلها قد يكون طبيعياً بفعل العمليات الطبيعية ومصدرها يعود إلى الصخور المصدرية التي تكون غنية بهذه العناصر نتيجة عمليات التجوية والتعرية والنقل والترسيب والغبار المحمول جواً(Men et al., 2018) ، أو من الأنشطة البشرية المتمثلة بالعمليات الصناعية ومياه الصرف الصحي وحقن النفايات في الترب والهواء الملوث والأنشطة الزراعية واستخدام الأسمدة الفوسفاتية والمبيدات والمخلفات المعدنية والمخلفات النفطية وعمليات التعدين السطحي والتلوث الاشعاعي .(Lim et al.,2023) أجريت العديد من الدراسات لتقييم الخطر البيئي للعناصر الثقيلة ومن بين هذه الدراسات دراسة (Issa et al., 2020) لتقييم التلوث ببعض بعض العناصر النزرة في رواسب نهر دجلة في محافظة واسط العراق، وأوضحت الدراسة ان ترسبات نهر دجلة ملوثة بالعناصر (Ni, Mo, Cd, Cr) بشكل عالٍ وملوثة بنسبة اقل

بعناصر (V, Mn, Cu, Co) وهي غير ملوثة بفلزات(Zn, Rb, Ga, Ba, Br, Pb) ، وأن مستوى تركيز العناصر النادرة في رواسب البزول التي تصب في نهر دجلة هو اعلى مما هو عليه في رواسب نهر دجلة.

كما اوضح (Al-Tamimi ,.2022et al) في دراسته لتقييم التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة في رواسب نهر ابو الخصيب في محافظة البصرة، جنوبي العراق. بينت نتائج الدراسة المتعلقة بالعناصر الثقيلة ان معدلات تراكيز العناصر في عينات الرواسب قد اخذت الترتيب التالي: (الحديد < النحاس< الكروم < الرصاص < الكادميوم). اذ تراوحت معدلات تراكيزها ما بين (1118–3731/ 0.234–1.4501.428 −/ 0.897 0.256 /0.015− 0.009 −/ 0.001) مايكرو غرام / غرام وزن جاف على التوالي. حيث كانت جميع قيم العناصر ضمن سابقاتها عدا عنصر الحديد سجل قيماً اعلى مما سجلته الدراسات السابقة. واخيرا دراسة (Qaseem et al., 2023) لنوعية الترسبات في بحيرة س ووادي دهوك. أشارت النتائج إلى أن معظم تراكيز الرصاص والنيكل والنحاس في الرواسب القاعية متجاوزه للحدود المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية، لتنعكس على قيم عامل الخطر البيئي (Er) حيث كانت 50٪ من العينات من ذات مخاطر بيئية متوسطة، بينما كانت قيم مؤشر (I geo) لجميع العينات ذات تلوث واطئ. تهدف الدراسة الحالية الى تقييم التلوث البيئي لرواسب خزانات سدود مختارة في العراق باستخدام مجموعة من مؤشرات التلوث المتمثلة بعامل الاغناء (EF)مؤشر الخطر البيئي (Er) ومؤشر تلوث الرواسب SPI)) لدراسة مدى التلوث وتحديد مصدره .(Zarei et al., 2018)

مواقع الدراسة

استنادا الى توصيات وزارة الموارد المائية وما يتوفر لديها من بيانات ومعلومات حول مشكلة تراكم الرواسب في خزانات السدود ونتيجة للحاجة الماسة الى مثل هكذا دراسة، وبعد التداول مع العاملين في الهيئة العامة للسدود والخزانات قسم الدراسات والتصاميم تم اختيار ثلاثة سدود صغيرة وهي سد سامراء في مدينة سامراء ضمن محافظة صلاح الدين وسد الوند وسد مندلي في مدينة خانقين ضمن محافظة ديالى (شكل 1). اذ يعد المناخ بعناصره المختلفة أحد العوامل المؤثرة في تشكيل الخزان؛ وتتميز المواقع المدروسة بانها واقعة تحت ظروف مناخية معتدلة ومتفاوتة في كميات الساقط المطري ودرجات الحرارة وسرعة الرياح والتبخر والمؤثرة على حركة الرواسب وعلى المعالم الجيومورفولوجية والغطاء النباتي والتربة . (Gara,2001)



Locations	Code	X	Y
Samarra Barrage	A	394751.2	3784829
	B	394206.5	3784719
	C	393372.5	3784706
Wand Dam	A	540816.4	3796182
	B	540740	3796720
	C	540774.4	3797310
Mandeli Dam	A	555200	3738509
	B	555040	3738606
	C	554853	3738907

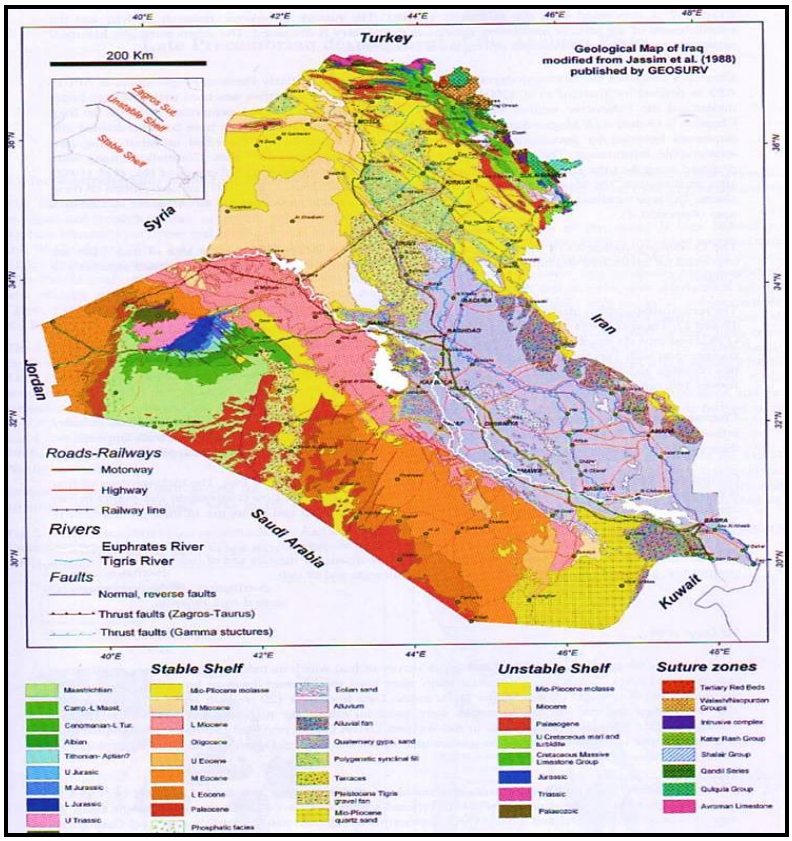
الشكل 1. خارطة العراق موضح عليها مواقع السدود المختارة ومواقع العينات المأخوذة من خزان كل سد.

جيولوجية مواقع الدراسة جيولوجية مواقع الدراسة

تغطي ترسبات العصر الرباعي حوالي 90% من موقع سدة سامراء المتمثلة برواسب المراوح الفيضية والتي تظهر بشكل تتابعات طباقية لترسبات الرمل والطين والغرين، وقد غمرت مياه الخزان جزءاً من مكاشف المدرجات النهرية التي ترسبت خلال العصر الرباعي والتي تمثل أكتاف نهر دجلة قبل البدء بإنشاء السدة ومحيطها في وضعها الحالي (Geosurv, 2017) (شكل 2).

اما في موقع سد الوند، فيعد تكوين مقدادية (U. Miocene–Pliocene) من اقدم التكوينات الجيولوجية المنكشفة في موقع السد، ويتكون من تتابع صخاري مكون من الحجر الرملي والحجر الطيني والغريني، وتوجد هذه الترسبات على اكتاف مجرى النهر الاصلي، بينما توجد ترسبات العصر الرباعي على الجهة اليمنى لمجرى النهر والتي تتكون من الغرين الذي تتخلله عدسات من الحصى والرمل التي توجد كذلك في الجانب الايمن من مجرى النهر (وزارة الموارد المائية، 2010 وشركة الرافدين العامة لتنفيذ السدود، مشروع سد الوند، تقرير داخلي) كما في الشكل (2).

وأخيرا ينكشف في موقع سد مندلي تكوين انجانة (Upper Miocene) الذي يتكون من الصخور الرملية وا لغرينية والطينية، حيث تظهر مناطق منخفضة بين مناطق مرتفعة نتيجة تعاقب الصخور الصلبة مع الصخور الهشة، وتكوين مقدادية (U. Miocene–Pliocene) الذي يتكون من الحجر الرملى والصخور الغرينية والطينية، وتكوين باي حسن (Pliocene) الذي يتألف من احجار المدملكات والحجر الرملي فضلا عن الحجر الجيري الغريني وترسبات العصر الرباعي. تغطي موقع سد مندلي انواع مختلفة من ترسبات العصر الرباعي التي تبدأ من بالبايستوسين وتنتهي بالهولوسين (Buday, 1980) (شكل 2).



الشكل2. خارطة العراق الجيولوجية (Jassim and Goff., 2006).

المواد والطرق العمل

تضمنت هذه الدراسة اجراء عدة جولات استطلاعية للتعرف على المعالم الجيولوجية المحيطة بمواقع السدود وجولة ميدانية في كل سد من السدود المختارة للدراسة للتعرف على طبيعة عمل كل جزء من أجزاء السد متمثلة بجسم السد ومأخذ القناة والمسيل المائي والمخرج السفلي والتعرف على الية وميكانيكية تشغيل الكراءة المستخدمة في كري الرواسب من بحيرات السد حيث كانت من نوع (IHC5514-IHC1600).

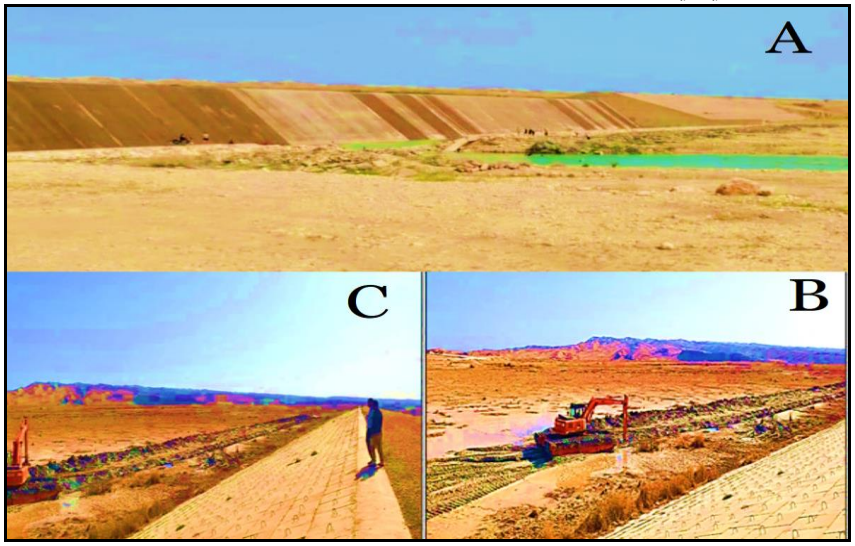
تم جمع تسع عينات وبواقع ثلاث نماذج مأخوذة من مقدمة ووسط ومؤخرة خزان كل سد وعلى مسافات متساوية، مع مراعاة ان تكون هذه العينات ممثلة لكل الخزان بصورة جيدة اثناء عمل الكراءة ليتم حفظها في بيدونات خاصة، ومن ثم ترقيمها وتغطيتها بطريقة محكمة لكي تحافظ على رطوبتها ثم نقلت الى المختبر لأجراء الفحوصات المختبرية اللازمة. مراحل العمل الحقلي في المواقع المدروسة المختلفة مبينة في اللوحة (1-1 أ–ب–ج).

تم فحص العناصر الثقيلة باستخدام تقنية البلازما مزدوجة الحث – قياس الطيف الكتلي في جامعة انقرة، المركز التطبيقي لأبحاث علوم الأرض، مختبر Yebim ، تركيا. تعتمد هذه التقنية على مبدا التأين بفعل اسقاط بلازما الاركون على النماذج التي تكون بشكل محلول ويسخن بالحث الى درجة حرارة تصل الى حوالي (1000) درجة سليزية، ثم بعدها يتحول النموذج الى ذرات ثم الى ايونات لتمر من خلال مخروط الفرز الى مصدر المطياف الكتلي، اذ تفرز العناصر حسب الطيف الخاص بها ويعمل المطياف على احداث انحرافات باتجاه ذرات العناصر باستثناء العناصر المراد تحليلها، وان هذا الانحراف يعتمد على نسبة كتلة كل ايون على شحنته، وتضمنت طريقة العمل لخورشيد (2015):

1. استخدام طريقة الحوامض الأربعة ($HClO_4$-HNO_3-HF-H_2O) في الفحص.
2. تحضير وهضم العينات وتجفيفها بدرجة حرارة (60) درجة سليزية وتمريرها من خلال منخل بحجم (200) مايكرون.
3. يوزن (0.25) غم من النموذج ويوضع في انابيب اختبار من التفيلون.
4. تمت عملية الهضم بإضافة (10) مل من الحوامض الأربعة بنسب 2:2:1:1 الى انابيب الاختبار التي تحوي النموذج ثم يسخن على (Hot plate) الى ان تتصاعد الابخرة ثم يترك ليجف.
5. ثم بعد ذلك يضاف (4 مل) من حامض الهيدروكلوريك بتركيز (0.5%) الى المتبقي، ليتم تسخينه في الفرن وبعد تبريده ينقل المحلول الى انابيب الاختبار البلاستيكية ويكمل المحلول الى حجم (10) مل ويدخل المحلول الى الجهاز لكي يتم تحليله.

لوحة (1-1 [أ]) العمل الحقلي في موقع سدة سامراء (A) موقع جسم السد (B) الكراءة المستخدمة (C) عملية النمذجة .

لوحة (1-1 –[ب]) العمل الحقلي في موقع سد الوند (A) موقع جسم السد (B) الكراءة المستخدمة (C) خزان سد الوند (D) عملية النمذجة.



لوحة (1-1 – [ج]) العمل الحقلي في موقع سد مندلي (A) موقع جسم السد (B) الكراءة المستخدمة (C) عملية النمذجة.

مؤشرات التلوث

تستخدم مؤشرات التلوث لتقييم مستوى التلوث في التربة والرواسب ولغرض معرفة المدخلات فيما اذا كانت طبيعية ام بشرية (Kormoker et al., 2019)وتشمل:

- **عامل الاغناء(EF)**

يعكس عامل الاغناء المحتوى النسبي للعناصر في التربة والرواسب مقارنة مع الصخور المصدرية ويشير الى درجة التلوث بالعناصر الثقيلة ويتم حساب وتصنيف هذا العامل وفق المعادلة (1) (Wuana et al., 2020) (جدول 1)

$$EF = \frac{C_m / C_{fe\,sample}}{C_m / C_{fe\ background}} \dots\dots (1)$$

حيث أن:

$C_m/C_{fe\ sample}$: تمثل نسبة تركيز العنصر الثقيل المقاس الى نسبة تركيز عنصر الحديد في رواسب مواقع الدراسة.

$C_m/C_{fe\ backgroud}$: تمثل نسبة تركيز الطبيعي للعنصر الثقيل الى نسبة تركيز العنصر المرجعي في القشرة الأرضية بحسب (Wedephol, 1995)، اذ يعد الحديد Fe احد العناصر المستخدمة كقيمة مرجعية في القشرة الارضيية (Dhanakumar and Mohanraj, 2013).

- **مؤشر تلوث الرواسب (SPI)**

يستخدم مؤشر تلوث الرسوبيات لتحديد سمية العناصر الثقيلة في التربة والرواسب ويتم حساب وتصنيف هذا المؤشر وفق المعادلة (2) (Singh et al., 2002) (جدول 1).

$$SPI = \frac{\sum Cf_m * W_W}{\sum W_W} \dots\dots (2)$$

حيث أن:

Cf_m : هو عامل التلوث الذي يمثل النسبة بين تركيز العنصر المقاس.

W_m: معامل سمية العناصر.

وأن معامل سمية العناصر تبلغ بحسب (Izah et al.,2018.) .

(Mn=1, Zn=1, Ni=1, As=10, Cd=30, Cr=2, Cu=5, Pb=5)

- **مؤشر الخطر البيئي(Er)**

يستخدم في مجموعة متنوعة من مجالات البحث العلمي مثل علم البيولوجي والكيمياء (Chen et al.,2020) ويتم حساب وتصنيف هذا المؤشر وفق المعادلة (3) بحسب (Kormoker et al., 2019) (جدول 1).

$$Er = \frac{Tr}{CF} \dots\dots (3)$$

حيث أن:

CF: عامل التلوث ، Tr: هو معامل الخطورة السمية للعناصر.

الجدول 1: يوضح مستوى التلوث لكل مؤشر من المؤشرات المستخدمة في الدراسة.

(Wana et al., 2020) EF		(Kormoker et al., 2019) Er		(Singh et al.,2002) SPI	
اغناء قليل	> 2	مخاطر بيئية منخفضة محتملة	>40	رواسب طبيعية	2−0
اغناء متوسط	5-2	مخاطر بيئية متوسطة محتملة	80-40	رواسب منخفضة التلوث	5−2
اغناء عالي	20-5	خطر بيئي محتمل كبير	160 -80	رواسب متوسطة التلوث	10−5
اغناء عالي جدا	40-20	مخاطر بيئية محتملة	320- 160	رواسب شديدة التلوث	20−10
اغناء فوق العالي	≥ 40	مخاطر بيئية عالية جدا	≥ 320	رواسب خطرة التلوث	20 <

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج فحص العناصر الثقيلة في موقع سدة سامراء وسد الوند وسد مندلي وجود وفرة من العناصر الثقيلة كما موضح في الجدول (2) والأشكال (3،4،5). ونلاحظ ارتفاع معدل تراكيز كل من الالمنيوم، الحديد، والمنغنيز في رواسب سدة سامراء مقارنة بالبقية، فيما كان معدل تراكيز الالمنيوم والحديد والسنتروتيوم هي الأعلى في رواسب سد الوند وسد مندلي، ويرجح هذا التغاير الى الاختلاف في التركيب المعدني والكيميائي للرواسب في الطبقات المختلفة والذي ينتج من اختلاف الصخور المصدرية نتيجة اختلاف الفترات الزمنية للترسيب (Abed and Azzubaidi,2020). إذ يعتمد توزيع وتجمع العناصر الثقيلة على العديد من العوامل، ومن أهمها الحجم الحبيبي الذي يلعب دوراً أساسياً وفعالاً في تحديد محتوى العناصر الثقيلة وحركتها المتراكمة في التربة والرواسب (Taghavi et al., 2019) وزيادة نسبة المواد العضوية التي تعمل امساك وتثبيت العناصر الثقيلة بسبب قابليتها على امتزاز العناصر وتكوين معقدات عضوية غير قابلة للذوبان مما يؤدي الى تقيد حركة العنصر بسبب زيادة تركيزها (الهاشمي والشمري، 2020). فضلا عن تأثير عامل المناخ الذي يسبب زيادة تراكيز العناصر الثقيلة في فترات الفيضانات والامطار وزيادة التصاريف وانخفاضها في فترات انخفاض معدل التصاريف وارتفاع درجات الحرارة. وبما ان تراكيزها يتأثر بتصريف المياه من الممكن ان ينقل جزءاً من الجزيئات العالقة او بسبب ما يطرح من ملوثات مع الفضلات السائلة التي تطرح بدون معالجة الى النهر (Ali and Muhammad, 2023) والاس الهيدروجيني الذي يعتبر من العوامل المسيطرة على حركة العناصر الثقيلة بصورة مباشرة او غير مباشرة من خلال عمليات الترسيب والاذابة وتكوين المعقدات وتفاعلات الاكسدة والاختزال، فعندما تكون قيم Ph حامضية ولو بمقدار قليل تجعل هذه العناصر اكثر قابلية على الذوبان وبالتالي تصبح اكثر سمية، وبالمقابل يؤدي ارتفاعها نحو القلوية الى ضعف قابلية العنصر على الذوبان والترسيب في التربة (Al-Saffawi, 2018).

وعند مقارنة معدلات تراكيز العناصر الثقيلة في رواسب خزانات السدود المختارة مع بعض الدراسات المحلية (جدول 3) تبين بان تراكيز العناصر المسجلة قيد الدراسة في موقع سدة سامراء وسد الوند وسد مندلي كانت اقل من معدل تراكيزها في رواسب سد حديثة وذلك بحسب دراسة (Al-Khaleifawi., 2023) باستثناء عنصر (Fe) حيث سجل قيمة اعلى، فيما كانت اعلى من معدل تركيزها في رواسب نهر الخصيب بحسب دراسة (Al-Tamimi et al.,2022). ويعزى هذا التغاير الى التأثيرات البشرية والانشطة الصناعية التي من الممكن ان تغير من الخواص الفيزيوكيميائية للرواسب من خلال تعريتها وترشيح الفضلات ومياه الري وعمليات التسميد الزراعي وبالتالي تؤثر على سلوك العناصر في الرواسب.(Xiaolu et al., 2018)

فيما أظهرت نتائج عامل الاغناء للمعادن الثقيلة بان رواسب خزان سدة سامراء وسد الوند وسد مندلي ذات اغناء عالٍ ضمن مستوى الاغناء ($5 \leq EF < 20$). بالعناصر (الالمنيوم، اليورانيوم، الكادميوم، البزموث، المولبيديوم) (الالمنيوم، البزموث، الكادميوم، المولبيديوم، الزرنيخ) (السنتروتيوم، المولبيديوم، الكادميوم، القصدير، البزموث، اليورانيوم) على التوالي. وأن مصدر هذه العناصر هو الفعاليات البشرية، فاليورانيوم والسنتروتيوم مصدرهما التلوث الاشعاعي من الأسلحة الحربية والكيمياوية وبعض أجزاء المركبات العسكرية وطائرات الهيلكوبتر المستخدمة في الحروب والتي تحتوي على تراكيز معينة منهما حيث يعاد انتشارهما عبر التعرية بالماء او الرياح او الانجراف مع المياه السطحية حيث ان كل عاصفة رملية او ترابية تكون محملة بتراكيز معينة منهما ثم يترسبا في التربة او الرواسب (Zhao et al., 2023 ; Zhang et al., 2023). أما عناصر المولبيديوم والقصدير والبزموث والالمنيوم فان مصدرها قد يعود الى الصخور المصدرية او الى المخلفات الصناعية او من أنشطة التعدين التي تطلق كميات كبيرة من المواد السامة التي يمكن أن تنشرها الرياح والمياه إلى مناطق بعيدة مما يساهم في رفع تراكيز العناصر الثقيلة، او من اطلاق كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي الى الانهار دون معالجة، او من حرق المنتجات النفطية (Salem and Alwalayed., 2019). وهي

ذات اغناء متوسط ضمن مستوى التلوث ($2 \leq EF < 5$) بالعناصر (النيكل والكوبلت والكروم والفناديوم والقصدير والزرنيخ) (القصدير والنيكل والفناديوم والثاليوم والكروم والسنترونتيوم) (الزرنيخ والنيكل والالمنيوم والكروم والثاليوم والفناديوم) على التوالي، ويعود السبب في ذلك إلى ما يطرح من ملوثات مع الفضلات السائلة التي تطرح مباشرة إلى النهر بدون معالجة، او الى ما تجرفه مياه الأمطار والسيول من مياه الفضلات المطروحة من المناطق السكنية والصناعية والزراعية إلى النهر(Pereira et al., 2022) (الجدول 4) (شكل (6).

فيما أشارت نتائج مؤشر الخطر البيئي (Er) في رواسب المواقع المدروسة الى وجود مخاطر بيئية محتملة الى مخاطر بيئية عالية جدا ضمن مستويات الخطر البيئي (320-160) (Er≥320) بعنصر الكادميوم كما في الجدول (5) والشكل (7) أما مؤشر تلوث الرواسب (SPI) في المواقع المدروسة فيبين وجود رواسب خطرة التلوث بعنصر الكادميوم ضمن مستوى تلوث الرواسب (>20) كما في الجدول (6) والشكل (8)، ويعزى السبب الى ارتباط الكادميوم بقوة بذرات التربة وبالتالي لا يتحلل ولا يتأكسد بسهولة في البيئة ولكن يمكن أن يغير شكله ويتسرب الى التربة والماء من التعدين والمخلفات الصناعية والنفايات المنزلية أو نتيجة احتراق الوقود الطبيعي من المستحثات واحتراق فضلات البلديات والمخلفات النفطية والاسمدة الفوسفاتية وينتقل لمسافات بعيدة عن مصدر الانبعاث ويوجد في جميع أنواع الصخور وينتقل لمسافات بعيدة عن مصدر الانبعاث عن طريق الانتقال الجوي، او قد يعود السبب كون الأراضي المحيطة بخزانات السدود ذات طبيعة خصبة تستخدم في الزراعة ونتيجة استخدام السماد العضوي اكثر من الفوسفاتي أو نتيجة تعرض المناطق المحيطة بالخزانات الى نشاط عسكري كثيف مما يزيد من نسبة الكادميوم في الرواسب (Wang et al.., 2023).

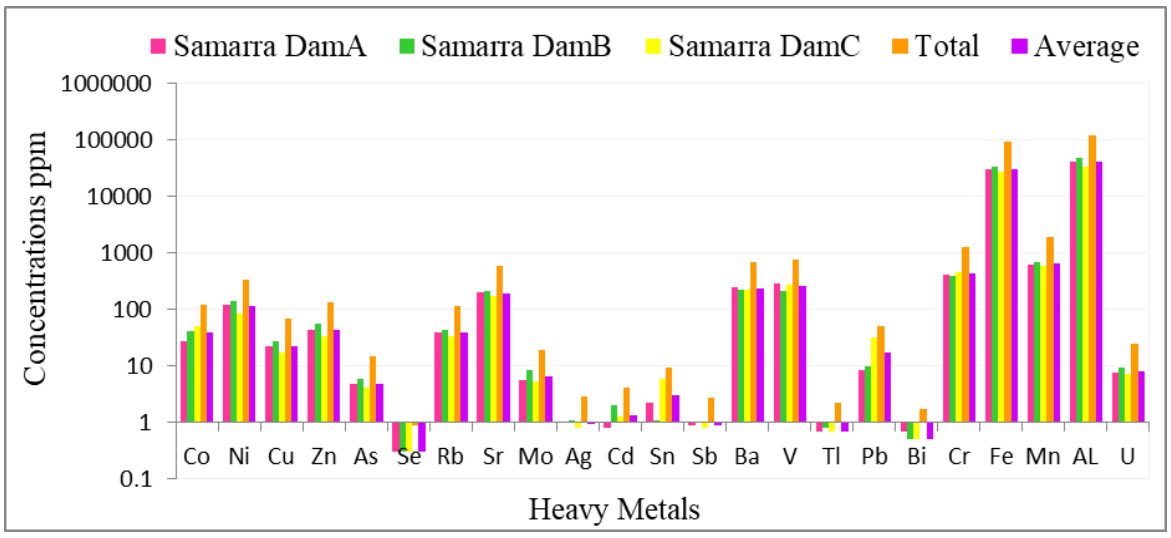
الجدول 2: يوضح معدل وتراكيز العناصر الثقيلة بوحدات (ppm) في المواقع المدروسة.

	Location											
Heavy Metal	Samarra Barrage A	Samarra Barrage B	Samarra Barrage C	Average	Wind Dam A	Wind Dam B	Wind Dam C	Average	Mandeli Dam A	Mandeli Dam B	Mandeli Dam C	Average
Co	28	40.9	51.3	40.06	24.9	33.3	12	23.33	27.8	18	22.9	22.9
Ni	119.4	138.2	84.9	114.16	75	71.7	62.2	69.63	99.6	32.8	135.5	89.3
Cu	22.4	27.3	17.4	22.36	21.5	20.9	16.3	19.33	20.7	7	21.3	16.3
Zn	44.1	54.8	34.1	44.33	38.6	38.6	32.1	36.43	59.7	22.9	62.4	48.3
As	4.8	5.9	4.2	4.96	5.3	6.1	5.8	5.73	3.5	2.8	4.1	3.4
Se	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.33	1.9	0.8	1.7	1.4
Rb	39.7	42.9	33.4	38.66	36.1	36.2	31.6	34.63	43.4	12.4	36.9	30.9
Sr	197.2	208.6	168.9	191.56	760.1	915.3	1135	936.8*	890.6	1178	847.4	972*
Mo	5.7	8.5	5.3	6.5	3.3	4.4	4.1	3.93	3.6	3.8	3.6	3.6
Ag	1	1.1	0.8	0.96	1	0.9	1.3	1.06	0.6	1.2	1	0.9
Cd	0.8	2	1.3	1.36	0.9	0.9	1.3	1.03	0.4	2.2	1	1.2
Sn	2.2	1.1	5.9	3.06	1.1	0.9	2.9	1.63	1	1.6	1	1.2
Sb	0.9	1	0.8	0.9	0.9	0.9	1	0.93	1	1.1	1	1
Ba	245.2	226.6	221.4	231	269.2	265.4	314	282.66	301.9	802.5	348.6	484.3
V	285	207	272	254	293	259	261	271	214	252	245	237
Tl	0.7	0.8	0.7	0.73	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9
Pb	8.5	10	32.7	17.06	7.3	7.3	6.6	7.06	9	3.8	7.4	6.7
Bi	0.7	0.5	0.5	0.56	0.4	0.6	0.6	0.53	0.7	0.6	0.6	0.6
Cr	410	400	461	423	300	314	308	307.33	200	219	199	206
Fe	29997	33963	27465	30475*	24955	24956	2205	23987*	24059	9820	24969	19616*
Mn	609	697	599	635*	534	528	478	513.33	388	307	413	369.3
AL	40584	46861	33763	40402*	33953	35118	3028	33117*	30757	9182	29577	23172*
U	7.7	9.3	7.3	8.1	8.7	15.5	11	11.73	19.3	29.9	11	20

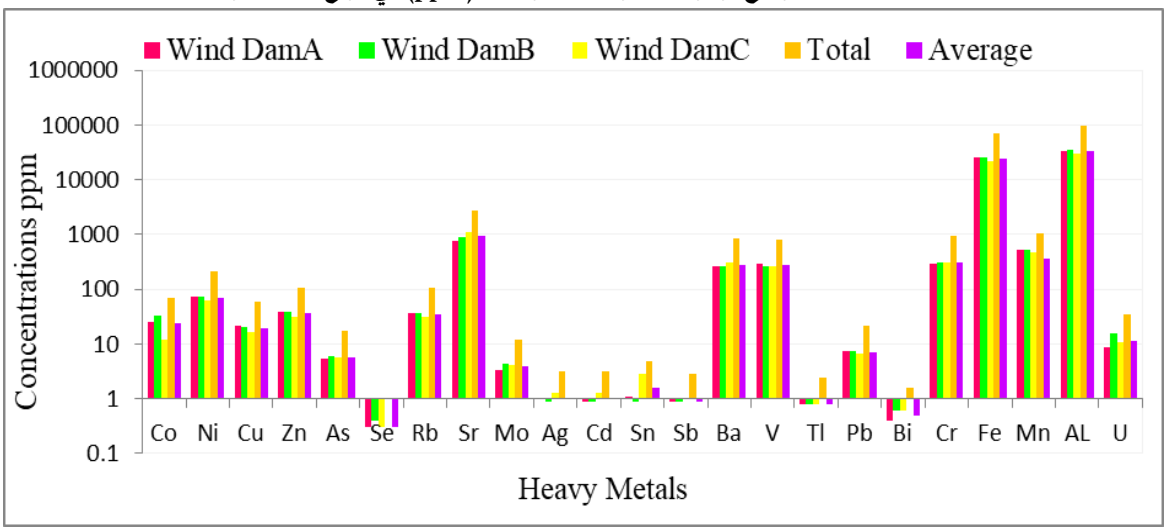
* معدل تراكيز العناصر الثقيلة الأعلى في رواسب سدة سامراء.

* معدل تراكيز العناصر الثقيلة الأعلى في رواسب سد الوند.

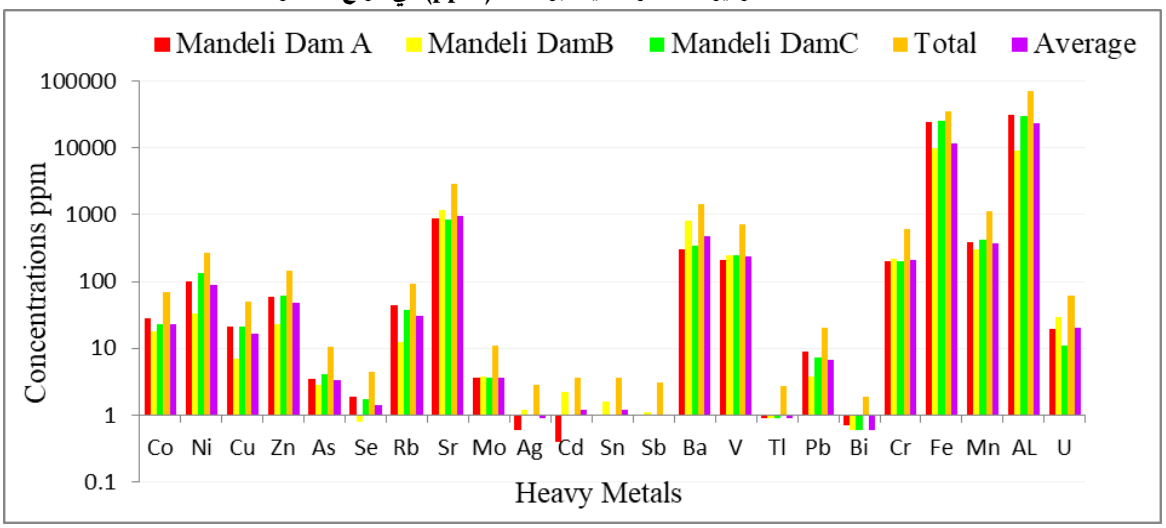
* معدل تراكيز العناصر الثقيلة الأعلى في رواسب سد مندلي.



الشكل 3. يوضح تركيز العناصر الثقيلة بوحدات (ppm) في موقع سدة سامراء.



الشكل4. تراكيز العناصر الثقيلة بوحدات (ppm) في موقع سد الوند.



الشكل5. يوضح تراكيز العناصر الثقيلة بوحدات (ppm) في موقع سد مندلي.

الجدول 3: مقارنة معدل تراكيز العناصر الثقيلة في رواسب السدود المختارة مع الدراسات المحلية.

Heavy Metals	Location				
	Samarra Barrage Average	Wand Dam Average	Mandeli Dam Average	Al- Khaleifawi .,2023	Al-Tamimi et al.,2022
Co	40.06	23.4	22.9		
Ni	114.1	69.6	89.3	176.5	
Cu	22.3	19.5	16.3	37.2	1.450
Zn	44.33	36.4	48.3	87	
As	4.9	5.7	3.4		
Se	0.3	0.3	1.4		
Rb	38.66	34.6	30.9		
S r	191.5	936.8	972		
Mo	6.5	3.9	3.6		
Ag	0.96	1	0.9		
Cd	1.36	1	1.2	3.92	0.009
Sn	3	1.6	1.2		
Sb	0.9	0.9	1		
Ba	231	282.8	484.3		
V	254	271	237		
Tl	0.7	0.8	0.9		
Pb	17	7	6.7	19.6	0.256
Bi	0.5	0.5	0.6		
Cr	423	307	206	543	142.8
Fe	30475	23987	11604	9228	1118
Mn	635	355.5	369.3	789	
AL	40402.6	33117	23172		
U	8.1	11.7	20		

*معدل تراكيز العناصر الثقيلة في رواسب سد حديثة اعلى من معدل تراكيزها في المواقع المدروسة.

*معدل تراكيز العناصر الثقيلة في رواسب المواقع المدروسة اعلى من معدل تراكيزها في رواسب سد حديثة ورواسب نهر الخصيب.

*معدل تراكيز العناصر الثقيلة في رواسب نهر الخصيب اقل من معدل تراكيزها في المواقع المدروسة.

الجدول 4: يوضح نتائج عامل الاغناء (EF) في المواقع المدروسة.

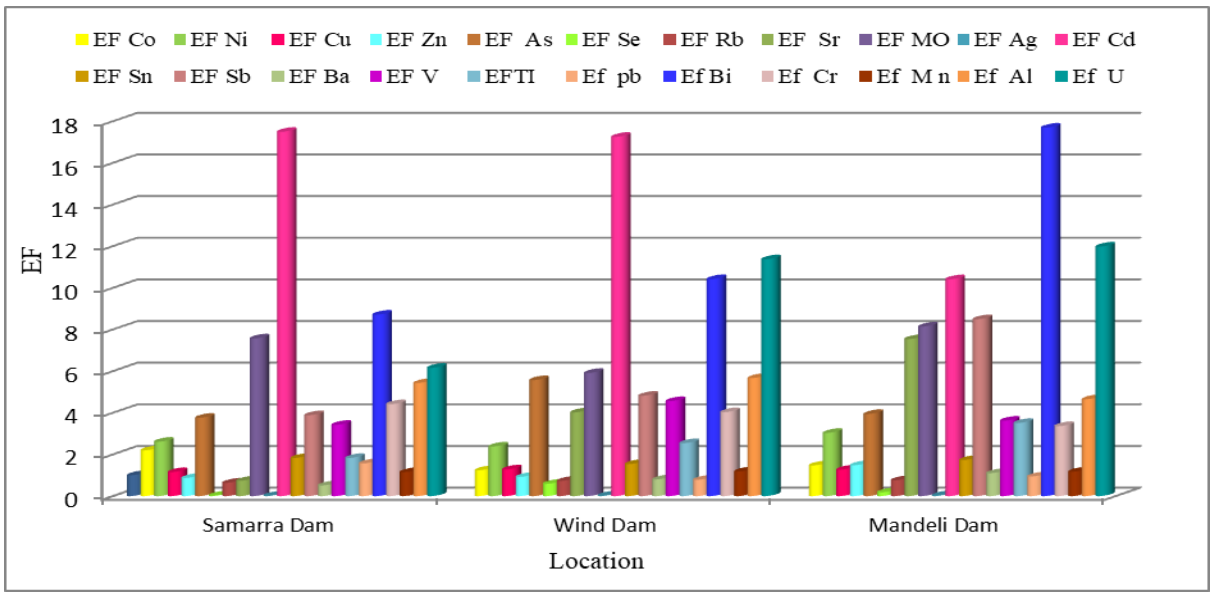
EF	Location											
	Samarra Barrage A	Samarra Barrage B	Samarra Barrage C	Average	Wind Dam A	Wind Dam B	Wind Dam C	Average	Mandeli Dam A	Mandeli Dam B	Mandeli Dam C	Average
EF Co	1.53	1.98	3.07	2.197	1.642	2.196	0.89	1.24	1.90	3.016	1.50	1.47
EF Ni	2.80	2.87	2.18	2.61	2.11	2.02	1.98	2.378	2.92	2.35	3.82	3.03
EF Cu	1.17	1.27	1.00	1.15	1.36	1.32	1.16	1.28	1.35	1.12	1.34	1.27
EF Zn	0.89	0.98	0.75	0.87	0.99	0.93	0.88	0.921	1.50	1.41	1.51	1.48
EF As	3.71	4.03	3.55	3.76	4.93	5.679	6.11	5.57	3.38	6.625	3.81	3.94
EF Se	0.024	0.021	0.026	0.024	0.52	0.60	0.64	0.59	0.19	0.20	0.16	0.18
EF Rb	0.67	0.63	0.61	0.64	0.73	0.73	0.72	0.73	0.91	0.63	0.74	0.76
EF Sr	0.77	0.72	0.72	0.74	3.61	4.35	6.10	4.02	4.39	14.22	4.02	7.54
EF MO	6.82	8.98	6.92	7.57	4.74	6.33	6.67	5.91	5.37	13.89	5.17	8.14
EF Ag	0.018	0.018	0.016	0.017	0.02	0.020	0.033	0.025	0.014	0.06	0.022	0.035
EF Cd	10.53	23.26	18.69	17.49	14.24	14.24	23.28	17.25	6.56	88.49	15.81	10.41
EF Sn	1.25	0.55	3.68	1.83	0.75	0.61	2.25	1.54	0.71	2.79	0.68	1.73
EF Sb	3.95	3.87	3.83	3.88	4.74	4.74	5.97	4.82	5.47	14.74	5.27	8.49
EF Ba	0.55	0.45	0.54	0.51	0.72	0.71	0.96	0.80	0.84	5.52	0.94	1.10
EFV	3.82	2.45	3.99	3.42	4.73	4.18	4.77	4.56	3.58	10.34	3.95	3.62
EFTI	1.77	1.78	1.93	1.83	2.43	2.43	2.75	2.54	2.84	6.96	2.73	3.51
Ef pb	0.75	0.78	3.17	1.57	0.78	0.78	0.79	0.78	0.99	1.03	0.79	0.94
Ef Bi	10.84	6.84	8.45	8.71	7.44	11.17	12.64	10.42	13.52	28.39	11.16	17.69
Ef Cr	4.28	3.69	5.26	4.41	3.76	3.94	4.37	4.03	2.60	6.99	2.49	3.36
Ef Mn	1.12	1.13	1.20	1.15	1.18	1.16	1.19	1.18	0.88	1.72	0.912	1.17
Ef Al	5.56	5.67	5.053	5.43	5.594	5.78	5.64	5.67	5.25	3.84	4.87	4.65
Ef U	5.96	6.36	6.17	6.16	8.10	14.43	11.59	11.37	18.63	70.74	10.23	11.98

*اغناء قليل

*اغناء متوسط

*اغناء عالي

*اغناء عالي جدا

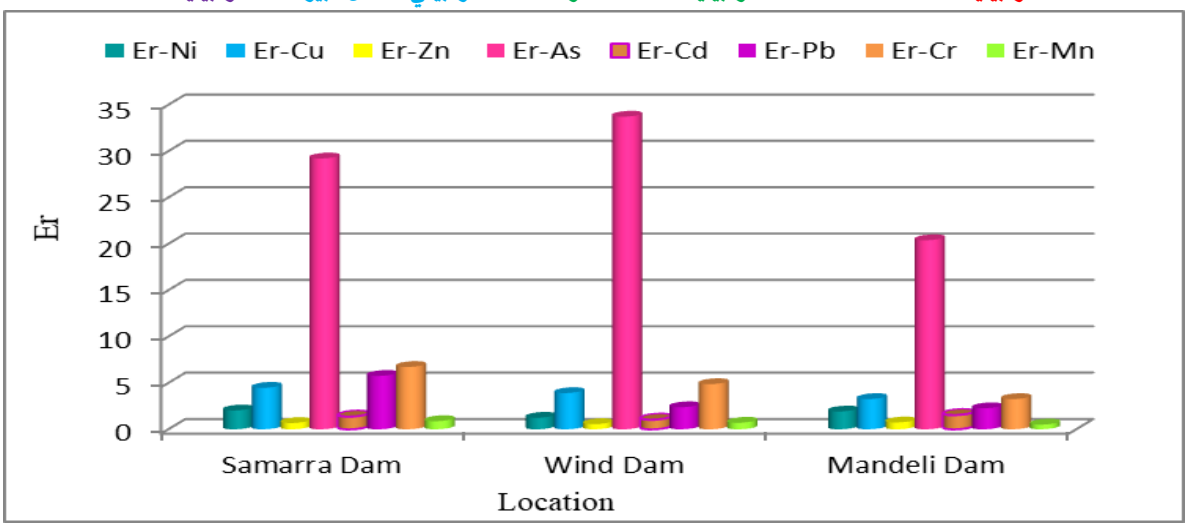


الشكل 6. يوضح نتائج عامل الاغناء في مواقع الدراسة.

الجدول 5. يوضح نتائج مؤشر الخطر البيئي في المواقع المدروسة.

	Location												
Er	Samarra Barrage A	Samarra Barrage B	Samarra Barrage C	Average	Wind Dam A	Wind Dam B	Wind Dam C	Average	Mandeli Dam A	Mandeli Dam B	Mandeli Dam C	Total	Average
Er-Ni	2.132	2.46	1.51	2.03	1.33	1.28	1.11	1.243	1.77	1.58	2.41	5.78	1.92
Er-Cu	4.48	5.46	3.48	4.473	4.3	4.18	3.26	3.91	4.14	1.4	4.26	9.8	3.26
Er-Zn	0.67	0.84	0.524	0.682	0.59	0.593	0.493	0.56	0.91	0.35	0.96	2.23077	0.74
Er-As	28.23	34.70	24.70	29.21	31.17	35.88	34.11	33.72	20.58	16.47	24.11	61.17	20.39
Er-Cd	240	600	390	410	270	270	390	310	420	660	300	1380	460
Er-Pb	2.87	3.37	11.04	5.76	2.46	2.46	2.22	2.38	3.04	1.28	2.5	6.82	2.27
Er-Cr	6.50	6.34	7.31	6.72	4.76	4.98	4.88	4.87	3.17	3.47	3.15	9.80	3.26
Er-Mn	0.85	0.97	0.83	0.88	0.74	0.73	0.66	0.71	0.54	0.42	0.57	1.54	0.51

* مخاطر بيئية منخفضة محتملة* مخاطر بيئية منخفضة متوسطة * خطر بيئي محتمل كبير *مخاطر بيئية محتملة.



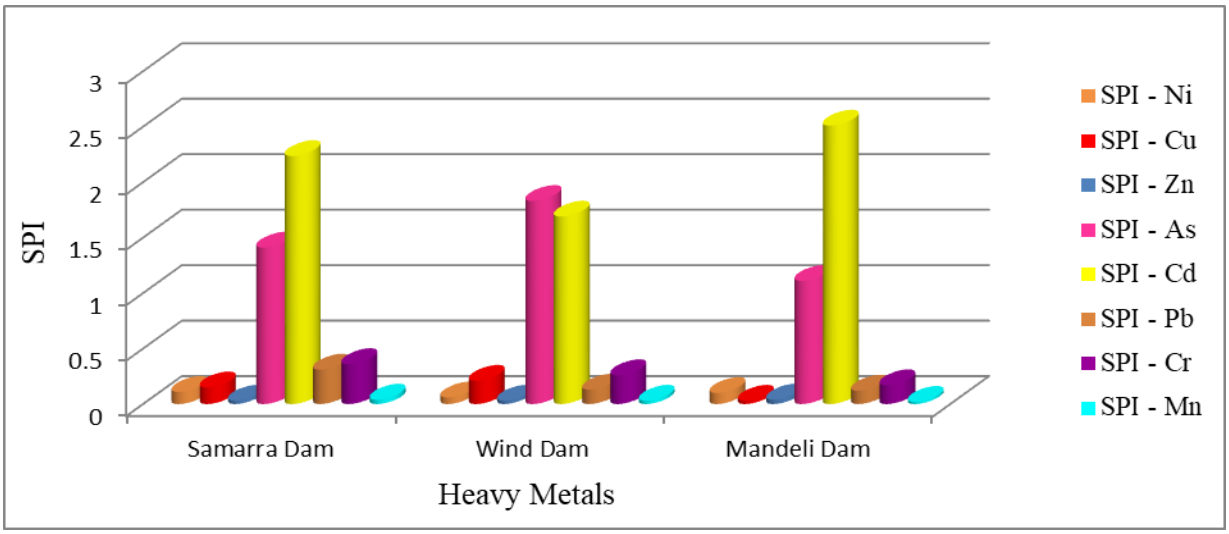
الشكل 7. يوضح نتائج مؤشر الخطر البيئي في مواقع الدراسة.

ملاحظة: تم تقسيم قيم مؤشر الخطر البيئي لعنصر الكادميوم في نماذج المواقع المدروسة على 300 لكي ينسجم مع بقية النماذج في الشكل البياني.

الجدول 6: يوضح نتائج مؤشر تلوث الرواسب في المواقع المدروسة.

SPI	Location		
	Samarra Barrage	Wind Dam	Mandeli Dam
SPI - Ni	0.11	0.06	0.1
SPI - Cu	0.15	0.21	0.03
SPI - Zn	0.03	0.03	0.04
SPI - As	1.41	1.83	1.11
SPI - Cd	22.36	16.9	25.09
SPI - Pb	0.31	0.13	0.12
SPI - Cr	0.36	0.26	0.17
SPI - Mn	0.04	0.03	0.02

* رواسب طبيعية
* رواسب منخفضة التلوث
*رواسب متوسطة التلوث
* رواسب شديدة التلوث
*رواسب خطرة التلوث.



الشكل 8. يوضح نتائج مؤشر تلوث الرواسب في مواقع الدراسة.

ملاحظة: تم تقسيم قيم مؤشر تلوث الرواسب لعنصر الكادميوم في نماذج المواقع المدروسة على 10 لكي ينسجم مع بقية النماذج في الشكل البياني.

الاستنتاجات والتوصيات

- اتبعت العناصر الثقيلة في المواقع المدروسة (سدة سامراء، سد الوند، سد مندلي) الترتيب الاتي:

(Al>Fe>Mn>Cr>V>Ba>Sr>Ni>Zn>Co>Rb>Cu>Pb>U>Mo>As>Sn>Cd>Ag>Sb>TI>Bi>Se).
(Al>Fe>Sr>Mn>Cr>Ba>V>Ni>Zn>Rb>Co>Cu>U>Pb>As>Mo>Sn>Ag>Cd>Sb>TI>Bi>Se).
(Al>Fe>Sr>Ba>Mn>V>Cr>Ni>Zn>Rb>Co>U>Cu>As>Mo>Pb>Cd>Sn>Ag>TI>Sb>Bi>Se).

ونلاحظ ارتفاع الالمنيوم والحديد في جميع المواقع المدروسة والسبب يعود الى وفرتهما في الصخور الأساس، فضلا عن تأثير حجم الحبيبات في حركتها حيث تعمل على خلب تلك العناصر وامتزازها وتكوين المعقدات حيث تمتلك هذه العناصر انجذاب قوي نحو الاحجام الحبيبية الناعمة (الغرين والطين) وهذا يساعد على زيادة تركيزهما وبالتالي يزيد من قابلية حركتهما والتي تزيد من تركيزهما في الرواسب.

- أشارت نتائج عامل اغناء (EF) بان الرواسب ذات اغناء عالي بالعناصر في موقع سدة سامراء وسد الوند وسد مندلي بالعناصر(Cd ,Bi , Al ,U, Mo) (As ,Mo, Cd, Bi, AI ,U) (U ,Bi ,Sb Sr, Mo, Cd) على التوالي، وذات اغناء متوسط بالعناصر (Ni ,As, V, TI, Cr , Al)(Ni ,Sr ,Sb ,V, TI, Cr)(Co ,Ni, As, Sb, V ,Cr)

على التوالي، وقد يعزى السبب الى طبيعة الرواسب التي تحتوي على نسب لابأس بها من هذه العناصر والى الأسمدة الفوسفاتية والعضوية والمبيدات الحشرية التي تستخدم في الأراضي الزراعية المجاورة لها، أو قد يعود مصدرها الى التلوث الاشعاعي والمخلفات الصناعية ومن أنشطة التعدين جراء حرق المنتجات النفطية او اطلاق كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي الى الانهار دون معالجة.

بينت نتائج مؤشر الخطر البيئي (Er) ومؤشر تلوث الرواسب (SPI) الى وجود تلوث عالٍ بعنصر الكادميوم في جميع المواقع المدروسة ويعزى السبب الى الفعاليات البشرية أو المخلفات الصناعية حيث يتسرب الكادميوم الى التربة والماء من التعدين والمخلفات الصناعية والنفايات المنزلية أو نتيجة احتراق الوقود الطبيعي من المستحثات واحتراق فضلات البلديات والمخلفات النفطية والاسمدة الفوسفاتية.

شكر وتقدير

تتقدم الباحثة بالشكر والتقدير الى الدكتور يوسف اوغلو جامعة انقرة، مركز أبحاث علوم الأرض التطبيقية لتسهيل مهمة اجراء التحليل الكيميائي والى السادة المقيمين الافاضل، والى الاستاذ الدكتور ريان غازي رئيس هيئة التحرير المحترم والدكتور صدام عيسى سكرتير المجلة المحترم لجهودهما الكبيرة.

المصادر

Abed, M. S. and Azzubaidi, R. Z., 2020. Sediment Transport within the Reservoir of Mandali Dam. Journal of Engineering, 26(2),29-41. https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.02.03.

Al-Hashemi, A. A., al-Shammari, A. K. H., 2020. Environmental assessment of urban soil pollution with heavy elements in Wasit Governorate using pollution criteria (CF, PLI, I geo), Journal of the College of Basic Education, Proceedings of the first virtual international scientific conference for social sciences / part two / geography. (In Arabic).

Ali, W. and Muhammad, S., 2023. Spatial distribution، eco-environmental risks and source characterization of heavy metals using compositional data analysis in riverine sediments of a Himalayan River, Northern Pakistan. Journal of Soils and Sediments, 23(5) , 2244-2257. https://doi.org/10.1007/s11368-023-03484-0.

Al-Khalefawi, F. J., 2023. Effect of water storage on water and sediments of Haditha dam reservoir. University of Anbar, College of Science, Iraq. p110.

Al-Saffawi, A.Y.T., 2018. Application of CCME WQI to assessment the environmental status of Tigris River water for aquatic life within Nineveh governorate, north Iraq. Alutroha for Environmental Sci. (5): 13-26. www.alutroha.com..

Al-Tamimi, M. H., Kadhim, H. H. and Al-Hello، A. Z. A., 2022. Assessment of environmental pollution by heavy Elements in the Sedimentary at Abu Al-Kahsib River in Basrah province-southern Iraq. Marsh Bulletin, 17(2).

Buday, T., 1980. The regional geology of Iraq Vol.1.Stratigraphy and Paleogeography, D.G. of Geol. Surv. And Min. Inv. Published., Baghdad,445p.

Chen, J., Zhang, H., Li، J., Liu، Y., Shi، W. and Hu, H., 2020. The toxic factor of copper should be adjusted during the ecological risk assessment for soil bacterial community: Ecological Indicators, v. 111, p. 106072. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106072.

Deng, M., Yang, X., Dai, X., Zhang, Q., Malik, A., Sadeghpour, A., 2020. Heavy metal pollution risk assessments and their transportation in sediment and overlay water for the typical Chinese reservoirs. Ecological indicators, 112, 106166. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106166.

Gara, B., 2001. Hidrogeological study of Chamchamal Basin, FAO representation، Coordination Office for Northern Iraq, Report, contract no. CT-SUL /VII/ IRR/ 2001-52.

Geosurv., 2017. Evaluation of groundwater in the area between Tigris and Diyala rivers. Report, No.3646.

Issa, M. J., Al-Obaidi, B. S. and Muslim, R. I., 2020. Evaluation of Some Trace Elements Pollution in Sediments of the Tigris River in Wasit Governorate, Iraq. Baghdad Science Journal, 17(1). https://doi.org/10.21123/bsj.2020.17.1.0009

Izah, S.C., Bassey, S.E. and Ohimain, E.I., 2018. Ecological risk assessment of heavy metals in Cassava mill effluents contaminated soil in rural community in the Niger delta region of Nigeria. Molecular Soil Biology. 9: 1-11. https://doi.org/10.5376/msb.2018.09.0003

Jassim, S. Z. and Goff, J. C., Eds., 2006. Geology of Iraq. DOLIN, sro, distributed by Geological Society of London.

Khorshid, D. R. H., 2015. Mineral and Geochemical Modern Sediments of Diyala Basin Drainage Systems in Northeastern Iraq, Unpublished Master Thesis, University of Kirkuk. P. 129. (In Arabic).

Kormoker, T., Proshad, R. and Islam, M.S., 2019. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment of the Louhajang river, Bangladesh. SF Journal of Environmental and Earth Science. https://scienceforecastoa.com.

Lim, Y. C., Albarico, F. P. J. B., Chen, C. F., Chen, C. W., Dong, C. D., 2023. Pollution sources and ecological risks of potentially toxic metals in sediments from a multi-functional Hsingda Harbor in southwestern Taiwan. Regional Studies in Marine Science, 58, 102780. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102780.

Men, C., Liu, R., Xu, F., Wang, Q., Guo, L. and Shen, Z., 2018. Pollution characteristics, risk assessment and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China: Sci Total Environ, v. 612, p. 138-147. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.123

Ministry of Water Resources, 2010. Al-Rafidain State Company for Dams Implementation، Al-Wand Dam Project, internal report. (In Arabic).

Pereira, W.V.D., Ramos, S.J., Melo, L.C.A., Braz, A.M.D. Dias, Y.N., de Almeida, G.V. Fernandes, A.R., 2022. Levels and environmental risks of rare earth elements in a gold mining area in the Amazon. Environ. Res. 211: 113090. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113090

Qaseem, N.M.A., Khalid M. and Al-Saffawi, A.Y.T., 2023. Qualitative Assessment of Soil and Sediment Pollution with Some Heavy Metals: A Case Study of Duhok Valley in The Kurdistan Region of Iraq. J. of University of Zakho. 11(1): 65-72. https://doi.org/10.25271/sjuoz.2023.11.1.1048.

Singh, M., German Müller, G., Singh، I.B., 2002. Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanisation of the Ganga plain، India. Water Air Soil Pollut. 141, 35–54. https://doi.org/10.1023/A:1021339917643.

Taghavi, M., Gharehghani, A., Nejad, F. B. and Mirsalim, M., 2019. Developing a model to predict the start of combustion in HCCI engine using ANN-GA approach. Energy Conversion and Management, 195, 57-69. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.015.

Wang, Z., Wang, H., Wang, H., Qin, Y., Cui, S. and Wang, G., 2023. Dual tolerance of ageratum (Ageratum conyzoides L) to combined pollution of acid and cadmium: Field survey and pot experiment. Journal of Environmental Management, 326, 116677. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116677.

Wuana , R., Ogbodo, C., Itodo, A.U. and Eneji, I.S., 2020. Ecological and Human Health Risk Assessment of Toxic Metals in Water, Sediment and Fish from Lower Usuma Dam, Abuja, Nigeria. J. of Geoscience and Environ. Protection. 8: 82-106. https://doi.org/10.4236/gep.2020.85006.

Xiaolu, Y., Miao, L., Jingqiu, Z., Jinting، G. and Wen, W., 2018. How Human Activities Affect Heavy Metal Contamination of Soil and Sediment in a Long-Term Reclaimed Area of the Liaohe River Delta, North China. Sustainability, Vol.10, No.2, pp: 338. https://doi.org/10.3390/su10020338.

Zarei, S., Niad , M. and Raanaei , H., 2018. The removal of mercury ion pollution by using Fe3O4-nanocellulose: Synthesis, characterizations and DFT studies. Journal of hazardous materials, 344, 258-273. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.009.

Zhang, J., Xu, C., Guo، Y., Jin, X., Cheng, Z., Tao, Q. and Wang, S., 2023. Increased hypertension risk for the elderly with high blood levels of strontium and lead. Environmental Geochemistry and Health, 45(5), 1877-1888. https://doi.org/10.1007/s10653-022-01317-6.

Zhao, B., Sun, Z., Guo, Y., Zhou, Z., Wang, X. and Ke, P., 2023. Occurrence characteristics of uranium mineral-related substances in various environmental media in China: A critical review. Journal of Hazardous Materials, 441, 129856. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129856.