

التوزيع الجغرافي لملوثات المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة وآثارها البيئية في محافظة بغداد

م.م. هدى باسم عزت
الجامعة المستنصرية / كلية التربية الأساسية
Huda12basim@gmail.com

مستخلص البحث:

يُعد نهر دجلة المصدر الرئيس للمياه في مدينة بغداد، إذ يعتمد عليه السكان في الشرب والزراعة والصناعة، غير أن الأنشطة البشرية المتزايدة، ولا سيما الصناعية منها، أدت إلى ارتفاع مستويات التلوث بالمعادن الثقيلة في مياهه. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم التوزيع الجغرافي لتركيزات بعض المعادن الثقيلة مثل الرصاص (Pb)، الحديد (Fe)، النيكل (Ni)، والكروم (Cr) في مقاطع مختارة من النهر داخل مدينة بغداد، باستخدام مؤشرات التلوث (PI) ومؤشر المعادن (MI) خلال الموسمين الجاف والرطب. أظهرت النتائج أن تراكيز بعض المعادن تجاوزت الحدود المسموح بها وفق المواصفات المحلية والعالمية، وكان الرصاص الأكثر خطورة لتجاوزه القيم المعيارية بشكل مستمر. كما تبين أن قيم مؤشرات التلوث كانت أعلى في الموسم الجاف مقارنة بالموسم الرطب، ويرجع ذلك إلى زيادة معدلات التبخر وقلة التصريف المائي. تشير هذه النتائج إلى وجود تهديد بيئي وصحي واضح ناجم عن تراكم المعادن الثقيلة في النظام النهري، مما يتطلب تعزيز السياسات البيئية وتشديد الرقابة على تصريف المخلفات الصناعية للحد من آثارها السلبية على صحة الإنسان والنظام البيئي المائي في بغداد.

الكلمات المفتاحية: نهر دجلة؛ محافظة بغداد؛ المعادن الثقيلة؛ الرصاص؛ مؤشر التلوث؛ مؤشر المعادن؛ التوزيع الجغرافي؛ المخاطر البيئية؛ الصحة العامة.

1. المقدمة

تُعدّ المعادن الثقيلة من أكثر الملوثات انتشاراً في المياه والرواسب، وقد حظيت هذه المشكلة باهتمام متزايد خلال العقود الأخيرة، خصوصاً في البيئات المائية، لما لها من تأثير في الإخلال بتوازن النظام البيئي وتغيير خصائصه الطبيعية. (Maktoof et al., 2020) وتُعدّ الأنشطة البشرية من أبرز العوامل المسببة لتلوث المياه، حيث تسهم عمليات الصرف الصناعي والنفطي، إلى جانب الممارسات غير السليمة مثل استخدام المواد الكيميائية في الصيد، في زيادة تركيز المعادن الثقيلة في أحواض الأنهار. (Aljanabi et al., 2021) ورغم وجود مصادر طبيعية لهذه العناصر مثل التجوية الصخرية، تآكل التربة، وانحلال الأملاح في المياه، إلا أن وجودها ضمن الحدود الطبيعية لا يسبب ضرراً بيئياً كبيراً. (Zahraw et al., 2019) غير أن عمليات تدهور الأراضي والتعدين قد تُضاعف من تراكم هذه المعادن في البيئة. (Briffa et al., 2020) وتنقسم المعادن الثقيلة إلى نوعين رئيسيين: الأساسية، مثل الزنك والحديد والمنغنيز والنحاس والكروم، وهي عناصر ضرورية للحياة لكن زيادتها عن الحد المسموح يجعلها سامة؛ وغير الأساسية، مثل الكاديوم والرصاص والزرنيخ، وهي سامة حتى عند تراكيز منخفضة. (Simionov et al., 2019) تُعدّ محافظة بغداد من أكثر المدن العراقية كثافة سكانية، الأمر الذي جعلها تعاني من معدلات عالية من التلوث، خاصة في نهر دجلة الذي يُعد المصدر الرئيس لمياه الشرب. وتشير الدراسات إلى أن بعض مناطق بغداد تجاوزت المعايير الوطنية لمستويات الملوثات الكيميائية، مما يندرج بخطر انتشار أمراض خطيرة مثل السرطان والأمراض المزمنة الأخرى إذا لم تتم معالجة هذه المشكلة. (Abdul Jabar & Thabit, 2021)

ومن الوسائل المهمة لتقدير مستوى التلوث المائي استخدام مؤشرات التلوث التي تعتمد على نماذج رياضية لتبسيط وفهم التغيرات في جودة المياه. ويُعد مؤشر التلوث المعدني (Metal Index, MI) من أبرز هذه الأدوات، إذ يُستخدم لتقييم تأثير المعادن الثقيلة على الصحة العامة ولمقارنة مستويات التلوث بين مناطق مختلفة. (Maktoof et al., 2020) وانطلاقاً من هذه المعطيات، يهدف هذا البحث إلى استخدام مؤشري التلوث العام والمؤشر المعدني لتقدير مستوى تلوث بعض المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة في مدينة بغداد.

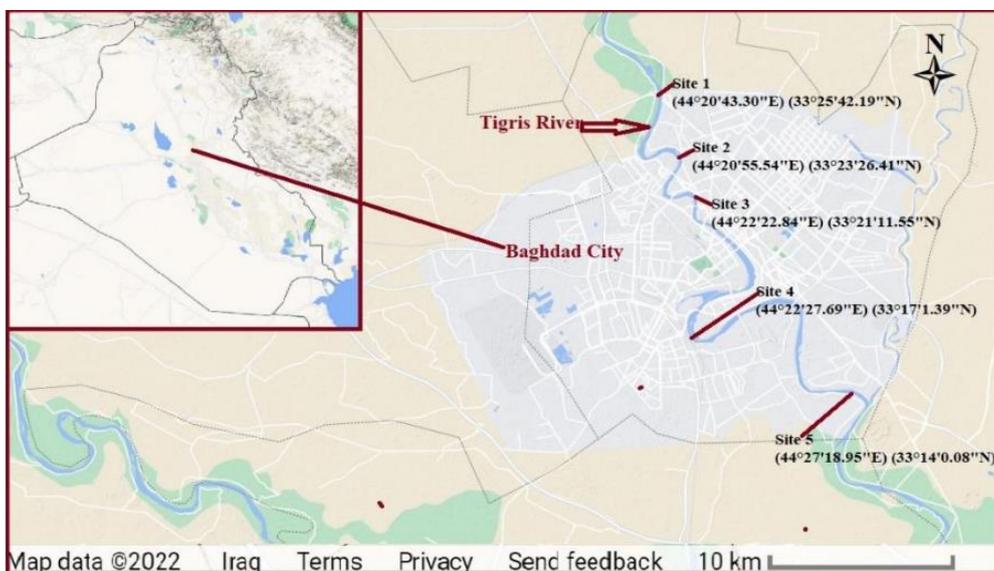
2. المواد والطرق

2.1 منطقة الدراسة

تم اختيار خمس محطات على طول نهر دجلة داخل مدينة بغداد لإجراء الدراسة (الشكل 1) باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) شملت المواقع: جسر المثنى، جسر الكريعات، جسر الصرافية، جسر الجادرية، ومنطقة الزعفرانية. يبلغ طول مجرى النهر داخل حدود بغداد حوالي 50 كم، ويقسم المدينة إلى قسمين هما الكرخ والرصافة (Al-Saadi, 2019) ويُعد النهر المصدر الرئيس للمياه الخام التي تُضخ إلى سبع محطات لمعالجة مياه الشرب تقع على ضفتيه. كما يُستخدم النهر أيضاً في ري الأراضي الزراعية وتبريد بعض المنشآت الصناعية، مثل محطة الرشيد الغازية في جنوب بغداد (Al-Kubaisi et al., 2020) إلا أن معظم (إلا أن معظم مياه الصرف الصحي والصناعي تُصرف مباشرة في مجرى النهر من دون أي معالجة مناسبة، الأمر الذي يزيد من تدهور نوعية المياه (Al-Obaidy & Al-Khateeb, 2014)

2.2 أخذ العينات

تم جمع ثلاث عينات من كل موقع؛ اثنتان من ضفاف نهر دجلة وواحدة من وسطه. وكان متوسط وقت أخذ العينات بين الساعة 7:00 صباحاً و6:30 مساءً. جُمعت العينات من أسفل سطح الماء بعمق يتراوح بين 20–30 سم، بعد شطف العبوات بمياه النهر عدة مرات قبل تعبئتها بالعينات المطلوبة. حُفظت العينات في صناديق مبردة بالتلج لحين وصولها إلى المختبر وإجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية. نُفذت القياسات المخبرية خلال 24 ساعة من جمع العينات في مركز بحوث البيئة بجامعة التكنولوجيا – العراق. وتم تحليل تراكيز المعادن الثقيلة وفقاً للمعايير المعتمدة من الجمعية الأمريكية للصحة العامة (APHA, 2017) اعتمدت الدراسة على الموسمين الرئيسيين في العراق بناءً على نسبة الرطوبة النسبية (RH%)؛ إذ يُعد الموسم رطباً عندما تتجاوز (50) RH%، بينما يُصنف الموسم جافاً عندما تقل عن (Al-Saadi, 2019).



الشكل (1) المواقع المدروسة (جوجل إيرث برو، 2025)

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المؤشرات لتقييم درجة التلوث والمخاطر الناتجة عن تراكيز المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة يوضح الجدول (2) الصيغ الرياضية المستخدمة في حساب هذه المؤشرات، حيث يمثل CI تركيز كل عنصر، بينما يشر Si الى الحد المسموح به وفقاً لمعايير جودة المياه أما MAC فهو التركيز الأقصى المسموح به للمعادن مؤشر التلوث ($Pollution\ index, PI$) يعتمد على النسبة بين التركيز المقاس للعنصر و الحدود المسموح بها ويعطي دلالة على مستوى التأثير البيئي فاذا كانت قيمة PI اقل من (1) فهذا يعني عدم وجود تأثير بينما يشير الى ارتفاع القيمة تدريجياً الى مستويات مختلفة من التأثير تبدأ من "تأثير طفيف" حتى "تأثير خطر (Backman et al.,1998) المؤشر المعدني ($Metal\ index, ML$) يستخدم لتقدير الحالة الاجمالية للتلوث بالمعادن في المياه. فإذا تجاوزت قيمة (MI) فهذا يعد مؤشراً خطراً يستدعي الانتباه لارتفاع مستوى التلوث (Caeiro et al.2005)

جدول (1) معدل المناخ الشهري خلال فترة الدراسة

(المصدر: مطار بغداد الدولي/قضاء الفرات-وزارة النقل/الهيئة العامة لأنواء الجوية و الرصد الزلزالي)

الأشهر	تموز 2024	آب 2024	أيلول 2024	تشرين الأول 2024	تشرين الثاني 2024	كانون الأول 2024	كانون الثاني 2025	آذار 2025	نيسان 2025	شباط 2025
الرطوبة النسبية RH%	21	24	27	34	60	69	55	41	31	59

المؤثر المستخدمة في تقييم مخاطر و تلوث مياه نهر دجلة موضحة في الجدول (2) حيث:

- CI : يمثل عنصر كل تركيز
- Si : يمثل المياه جودة معايير بحسب للعنصر القياسي المستوى
- MAC : التركيز به مستوى الأقصى الحد

جدول (2) مؤشر التلوث ومؤشر المعادن

المؤشر	المعادلة	التصنيف	الوصف	المرجع
مؤشر التلوث (PI)	$PI = \sqrt{\frac{(Ci/Si)_{max}^2 + (Ci/Si)_{min}^2}{2}}$	$PI < 1$	بدون تأثير	(Beckman et al., 1998)
		$1 < PI < 2$	تأثير طفيف	
		$2 < PI < 3$	تأثير متوسط	
		$3 < PI < 5$	تأثير قوي	
		$PI > 5$	تأثير خطير	
مؤشر المعادن (MI)	$MI = \sum_{i=1}^n \frac{Ci}{MAC}$	$MI > 1$	حدّ الإنذار	(Al-Saadi, 2019).

بهذا تكون المؤشرات أداة علمية دقيقة لقياس و تقييم مدى خطورة المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة و مقارنتها بالمعايير البيئية و الصحية المعتمدة

3. النتائج و المناقشة

تم تقييم تراكيز المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة بهدف تحديد توزيع الحديد (Fe) ، الرصاص (Pb) ، النيكل (Ni) ، الزنك (Zn) ، و الكروم (Cr) في المياه و كذلك للتعرف على اثر الأنشطة البشرية على العمليات الجيوكيميائية الحيوية في النهر و قد تم عرض المتوسط الحسابي و الانحراف المعياري لتراكيز المعادن في جميع المواقع في الجدول (3) بالمقارنة مع المعايير العراقية لدورة مياه الأنهار تبين ما يلي :

- تجاوز الرصاص (pb) الحدود المسموح بها في جميع أوقات الدراسة
- تجاوز الكروم (Cr) الحدود المسموح بهافي جميع المواقع خلال الموسم الجاف
- تجاوز الحديد (Fe) الحد المسموح به في الموقع الواحد(1) مرة واحدة فقط في موسم الجفاف
- تجاوز النيكل (Ni) الحدود المسموح بها في الموقع(3) خلال كلا الموسمين
- بقية تراكيز الزنك (Zn) ضمن الحدود المسموح بها طوال فترة الدراسة.

موقع 5	موقع 4	موقع 3	موقع 2	موقع 1	القيمة القياسية (قانون 1967/25)	المعدن
0.2459±0.27	0.1338±0.13	0.2498±0.36	0.1264±0.12	0.3052±0.0461	0.3	Fe
0.2174±0.25	0.2469±0.22	0.1907±0.18	0.1448±0.15	0.2051±0.379	0.05	Pb
0.0177±0.04	0.0205±0.04	0.1214±0.29	0.0149±0.02	0.0194±0.0473	0.1	Ni
0.0187±0.04	0.0194±0.04	0.0175±0.04	0.0094±0.01	0.0192±0.045	0.5	Zn
0.0717±0.17	0.0700±0.15	0.0200±0.04	0.0660±0.13	0.0634±0.155	0.05	Cr

جدول (3-أ)

تراكيز المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة خلال الموسم الجاف (ملغم/لتر) - المتوسط والانحراف المعياري

موقع 5	موقع 4	موقع 3	موقع 2	موقع 1	القيمة القياسية (قانون 1967/25)	المعدن
0.2459±0.27	0.1338±0.13	0.2498±0.36	0.1264±0.12	0.3052±0.0461	0.3	Fe
0.2174±0.25	0.2469±0.22	0.1907±0.18	0.1448±0.15	0.2051±0.379	0.05	Pb
0.0177±0.04	0.0205±0.04	0.1214±0.29	0.0149±0.02	0.0194±0.0473	0.1	Ni
0.0187±0.04	0.0194±0.04	0.0175±0.04	0.0094±0.01	0.0192±0.045	0.5	Zn
0.0717±0.17	0.0700±0.15	0.0200±0.04	0.0660±0.13	0.0634±0.155	0.05	Cr

مؤشر التلوث (PI)

تستند نتائج مؤشر التلوث (PI) إلى حسابات كل معدن ثقيل على حدة، حيث يُقسم المؤشر إلى خمس فئات (انظر الجدول 2)، وهو أداة مهمة جداً في تحديد أكثر العناصر المعدنية خطورة في البيئة. خلال الموسم الجاف تراوحت قيم مؤشر التلوث بين:

- الحديد (Fe): (0.062 – 2.03)
 - الرصاص (Pb): (4.35 – 9.67)
 - النيكل (Ni): (0.37 – 2.32)
 - الزنك (Zn): (0.04 – 0.11)
 - الكروم (Cr): (1.02 – 4.3)
- أما في الموسم الرطب فكانت القيم كالاتي:

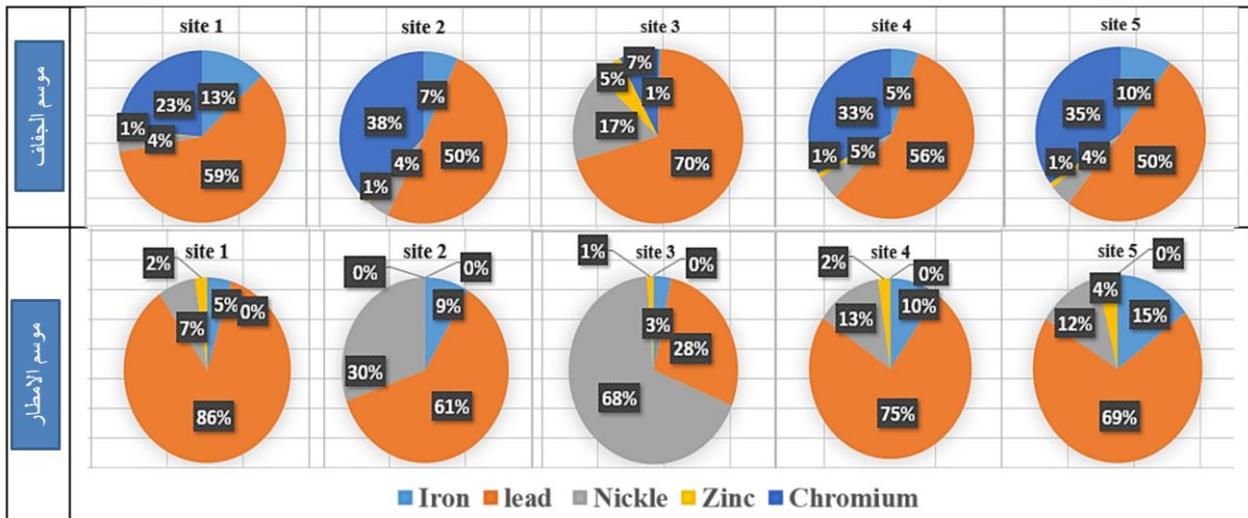
- الحديد (Fe): (0.12 – 0.29)
 - الرصاص (Pb): (1.29 – 5.35)
 - النيكل (Ni): (0.22 – 3.65)
 - الزنك (Zn): (0.001 – 0.14)
 - الكروم (Cr): (0.001)
- ويُوضح الجدول (4) والشكل (2) النسبة المئوية لكل عنصر خلال فترة الدراسة.
- أظهرت النتائج أن مؤشر التلوث للزنك (Zn) يقع دائماً ضمن فئة "بدون تأثير" في جميع المواقع ولجميع المواسم.
 - أغلب العناصر الأخرى سجلت قيم PI أقل من (1)، باستثناء الرصاص (Pb) الذي تجاوز القيمة (1) في جميع المواقع خلال الموسمين، وصُنّف دائماً ضمن فئة "متأثر بشدة"، ويُعزى ذلك إلى الأنشطة الصناعية التي تُعد المصدر الرئيس لتلوث الرصاص في المنطقة المدروسة، إذ تتميز بوجود مجمعات صناعية.
- أشارت دراسة Parissa وآخرون (2012) إلى أن من أبرز مصادر الرصاص في المياه هو ترسيب العنصر من الغلاف الجوي نتيجة عوادم المركبات، حيث ما زال البنزين المحتوي على الرصاص يُستخدم رغم حظره. وتُعتبر أكاسيد النيتروجين، أول أكسيد الكربون، الهيدروكربونات، الجسيمات العالقة، أكاسيد الكبريت، والرصاص من أهم ستة ملوثات هوائية مسؤولة عن أكثر من 90% من التلوث الهوائي. كما أوضحت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) أن الرصاص يمكن أن يدخل مياه الشرب نتيجة تآكل أنابيب ومواد السباكة المحتوية على الرصاص، خاصة إذا كانت المياه ذات حموضة عالية أو منخفضة المعادن، وهو ما يزيد من معدلات التآكل. وتُعد الأنابيب والوصلات والصنابير المحتوية على الرصاص المصدر الأكثر شيوعاً، خصوصاً في المباني القديمة التي بُنيت قبل عام 1986. وفي دراسة لمحمد وآخرون (2019) شملت تسعة مواقع مختلفة في مدينة بغداد، وُجد أن تراكيز الرصاص في مياه الشرب بلغت (0.17 ملغم/لتر)، وهي أعلى بكثير من الحدود المسموح بها وفق منظمة الصحة العالمية والمعايير العراقية (0.01 ملغم/لتر). كما أشار علي وآخرون (2019) إلى أن مياه الصرف الصحي المنزلية في بغداد تُصرف مباشرة في نهر دجلة دون معالجة. أما الحديد (Fe) والكروم (Cr)، فقد سُجّلت قيم مؤشر التلوث لهما ضمن "بدون تأثير" في جميع المواقع خلال الموسم الرطب، على العكس من الموسم الجاف حيث صُنّف الموقع (1) والموقع (5) ضمن الفئة "متأثر بدرجة متوسطة" و"متأثر بدرجة طفيفة" بالنسبة للحديد، في حين صُنّف جميع المواقع ضمن "متأثر بشدة" بالنسبة للكروم. ويرتبط ارتفاع تركيز الحديد والكروم في الموسم الجاف بزيادة معدلات التبخر، مما يؤدي إلى تركّز الملوثات.
- أما النيكل (Ni)، فكان تأثيره "بدون تأثير" في معظم المواقع خلال الموسمين، باستثناء الموقع (3) الذي صُنّف "متأثر بدرجة متوسطة" في الموسم الجاف و"متأثر بشدة" في الموسم الرطب. ويُعزى ذلك إلى قرب الموقع من مصنع بطاريات بابل في بغداد، حيث تُصرّف مخلفات المصنع مباشرة إلى شبكات الصرف الصحي العامة دون معالجة، ما يؤدي في النهاية إلى وصولها إلى النهر.

جدول (4-أ): مؤشر التلوث (PI) لمياه نهر دجلة خلال الموسم الجاف (شهر شباط)

المعدن	الموقع 1	التصنيف	الموقع 2	التصنيف	الموقع 3	التصنيف	الموقع 4	التصنيف	الموقع 5	التصنيف
Fe	2.035	متأثر بدرجة متوسطة	0.576	بدون تأثير	0.062	بدون تأثير	0.567	بدون تأثير	1.241	متأثر بدرجة طفيفة
Pb	9.587	متأثر بشدة جداً (خطير)	4.354	متأثر بشدة	9.673	متأثر بشدة جداً (خطير)	6.036	متأثر بشدة جداً (خطير)	6.291	متأثر بشدة جداً (خطير)
Ni	0.581	بدون تأثير	0.37	بدون تأثير	2.321	متأثر بدرجة متوسطة	0.51	بدون تأثير	0.528	بدون تأثير
Zn	0.113	بدون تأثير	0.045	بدون تأثير	0.728	بدون تأثير	0.095	بدون تأثير	0.11	بدون تأثير
Cr	3.8	متأثر بشدة	3.3	متأثر بشدة	1.026	متأثر بدرجة طفيفة	3.5	متأثر بشدة	4.3	متأثر بشدة

جدول (4-ب): مؤشر التلوث (PI) لنهر دجلة – موسم الأمطار (شهر ايلول)

المعدن	الموقع 1	الموقع 2	الموقع 3	الموقع 4	الموقع 5
الحديد (Fe)	0.291 – بدون تأثير	0.126 – بدون تأثير	0.185 – بدون تأثير	0.221 – بدون تأثير	0.277 – بدون تأثير
الرصاص (Pb)	5.358 – متأثر بشدة جداً	0.914 – بدون تأثير	1.499 – متأثر قليلاً	1.683 – متأثر قليلاً	1.290 – متأثر قليلاً
النيكل (Ni)	0.461 – بدون تأثير	0.452 – بدون تأثير	3.656 – متأثر بشدة	0.297 – بدون تأثير	0.228 – بدون تأثير
الزنك (Zn)	0.145 – بدون تأثير	0.001 – بدون تأثير	0.065 – بدون تأثير	0.053 – بدون تأثير	0.072 – بدون تأثير
الكروم (Cr)	0.001 – بدون تأثير	0.001 – بدون تأثير	0.001 – بدون تأثير	0.001 – بدون تأثير	0.001 – بدون تأثير



شكل (2) نسبة PI لكل عنصر

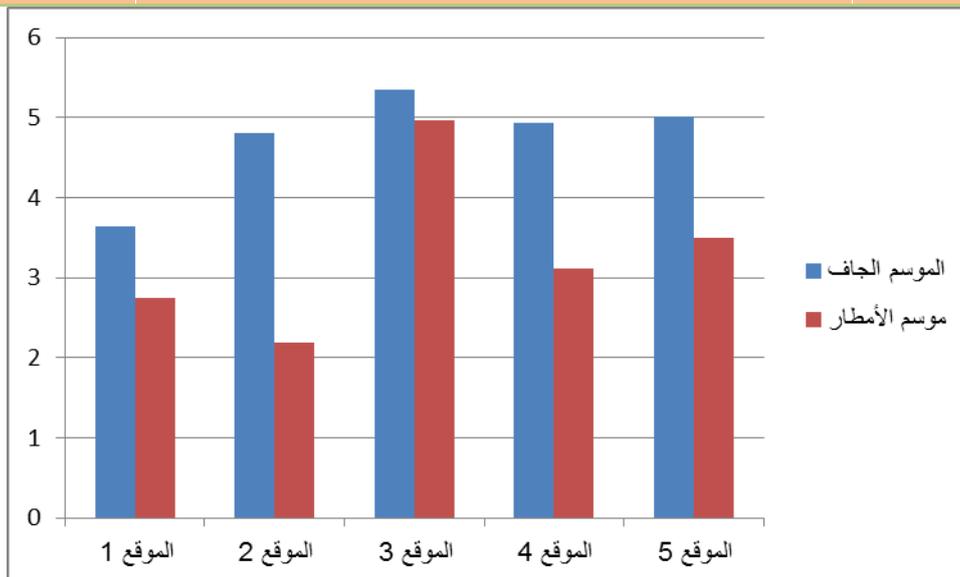
مؤشر المعادن (Metal Index – MI)

يستخدم مؤشر المعادن لتحديد مدى ملاءمة المياه لأغراض مختلفة ولتقييم جودتها. وقد تراوحت قيم مؤشر المعادن (MI) بين 3.64 – 5.35 خلال الموسم الجاف، وبين 2.19 – 4.96 خلال موسم الأمطار (الشكل 3). كانت جميع القيم أعلى من الحد التحذيري طوال فترة الدراسة، مما يشير إلى أن نهر دجلة متأثر بتلوث المعادن الثقيلة الناتج عن الأنشطة الصناعية والبشرية.

وكما يتضح في الشكل (3)، فإن قيم المؤشر في الموسم الجاف أعلى منها في موسم الأمطار، ويُعزى ذلك إلى زيادة معدلات التبخر التي تؤدي إلى تركيز المعادن في المياه. وقد أكد ذلك ما ورد من بيانات مطار بغداد الدولي/منطقة الفرات (وزارة النقل/الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي)، حيث بلغ مجموع التبخر في الموسم الجاف 291.1 ملم، بينما لم يتجاوز في موسم الأمطار 87.92 ملم.

جدول (5): مؤشر التلوث (PI) لنهر دجلة والانحراف المعياري

الموقع	الموسم الجاف	الانحراف المعياري	موسم الأمطار	الانحراف المعياري
الموقع 1	3.64	1.51352	2.75	2.19176
الموقع 2	4.8	3.88396	2.19	0.19446
الموقع 3	5.35	4.84615	4.96	3.70669
الموقع 4	4.94	4.45992	3.12	1.18145
الموقع 5	5.01	0.82368	3.5	1.73205



الشكل (3). مؤشر المعادن لنهر دجلة

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن تراكيز المعادن الثقيلة في مياه نهر دجلة تجاوزت في بعض الحالات الحدود المسموح بها وفق التشريعات العراقية (قانون 1967/25) والمعايير الدولية (لشهرية اشباط وأيلول) فقد سُجِّل الرصاص (Pb) عند مستويات مرتفعة في جميع المواقع وكلا الموسمين، مما يشير إلى وجود ضغط بيئي كبير على النهر من الأنشطة البشرية والصناعية. هذه النتيجة تتفق مع دراسة Hamdan (2020) حول شط العرب التي بينت تجاوزات مماثلة للرصاص، وكذلك ما أشار إليه Maktoof و اخرون (2020) (حول تراكيز مرتفعة للرصاص في مياه المصارف الرئيسية في الناصرية. كما تدعم نتائجنا ما توصلت إليه دراسة Abdul Jabar & Thabit (2021) التي وجدت أن مصادر مياه الشرب في بغداد معرضة لمخاطر التلوث الكيميائي وخاصة الرصاص.

بالإضافة إلى ذلك، أظهرت نتائج هذه الدراسة أن الكروم (Cr) تجاوز الحدود المسموح بها في الموسم الجاف بجميع المواقع، في حين بقيت تراكيزه ضمن الحدود خلال الموسم الرطب. هذه الظاهرة تعزى إلى تأثير التبخر وزيادة تركيز الملوثات في المياه خلال أشهر الجفاف، وهو ما أشار إليه Edokpayi وآخرون (2017) (في دراستهم عن الأنهار في جنوب أفريقيا حيث لوحظ ارتفاع

تراكيز المعادن خلال المواسم الجافة. أما الحديد (Fe) فقد تجاوز الحد المسموح به في موقع واحد فقط خلال الموسم الجاف، بينما كانت تراكيزه ضمن الحدود في بقية المواقع والموسم الرطب. يتماشى ذلك مع دراسة Al-Ani و اخرون (2014) التي لاحظت أن مستويات الحديد في نهر دجلة متذبذبة ومرتبطة بالأنشطة الصناعية القريبة. بالنسبة للنیکل (Ni) ، أظهرت نتائج الدراسة ارتفاع تركيزاته في الموقع (3) خلال كلا الموسمين، وهو ما يشير إلى مصدر موضعي للتلوث. هذه النتيجة تدعم ما أشار إليه (Thamer 2011) بشأن تصريف مخلفات مصنع بطاريات بابل في شبكات الصرف الصحي، وهو ما يفسر تسجيل قيم مؤشر تلوث مرتفعة للنیکل في هذا الموقع تحديداً.

أما الزنك (Zn) ، فقد بقيت تراكيزه دائماً ضمن الحدود المسموح بها، وهي نتيجة تتوافق مع ما وجدته Rasheed وآخرون (2017) في دراستهم على نهر دجلة في بغداد، حيث سجلت تراكيز الزنك مستويات منخفضة نسبياً مقارنة بالرصاص والنیکل. وبالمقارنة مع الدراسات الدولية، تتفق نتائج هذه الدراسة مع ما أشار إليه Karrari وآخرون (2012) في مراجعتهم المنهجية حول التلوث بالرصاص في إيران، حيث أكدوا أن الرصاص يُعد من أخطر الملوثات المعدنية وأكثرها ارتباطاً بالصحة العامة. كما أوضحت Briffa وآخرون (2020) أن تراكم المعادن الثقيلة في المياه والرسوبيات يُشكل تهديداً كبيراً للأنظمة البيئية وصحة الإنسان على المدى الطويل. بناءً على مؤشر التلوث (PI) ومؤشر المعادن (MI) ، فإن نهر دجلة يُظهر مستويات مقلقة من التلوث بالمعادن الثقيلة، خصوصاً الرصاص والكروم والنیکل، مما يعكس التأثير المباشر للأنشطة الصناعية ومحدودية كفاءة محطات معالجة المياه والصرف الصحي. (Al-Musawi et al., 2017) هذه النتائج تؤكد ضرورة تعزيز الرقابة البيئية وتطوير تقنيات معالجة فعالة للحد من التلوث وتحسين جودة المياه.

يشكل نهر دجلة شرياناً مائياً حيوياً يمر عبر مدينة بغداد ويخدم أغراضاً متعددة منها الشرب، الري، والصناعات. تتأثر جودته بعوامل موضعية ومنبعية؛ إذ تُعد المصارف الصناعية والمنزلية، والمخارج الصرفية، والمصانع القريبة من حوض النهر من أهم مصادر دخول المعادن الثقيلة مثل الرصاص (Pb) ، النیکل (Ni) ، الحديد (Fe) ، الكروم (Cr) والزنك (Zn) إلى المياه والرسوبيات (Ali Abed et al., 2019; Olewi & Al-Dabbas, 2022).

نمط التوزيع الجغرافي والنقاط الساخنة

1. النطاقات القريبة من المجمعات الصناعية :

تظهر تراكيز مرتفعة للرصاص والكروم والنیکل في مواقع قريبة من مجمعات صناعية ومصانع بطاريات ومعامل (على سبيل المثال: قرب مصانع بطاريات بابل)، ويقع المصنع في محافظة بغداد في الوزيرية ما يدل على مصادر موضعية للتلوث تُفرغ مخلفاتها في شبكات الصرف أو مباشرة إلى النهر. (Thamer, 2011/2022; Olewi & Al-Dabbas, 2022)

2. مخارج مياه الصرف المنزلية: سجلت دراسات سابقة تراكيز مرتفعة للعناصر السامة في أماكن تصريف المياه المنزلية والصرف غير المعالج إلى النهر داخل مدينة بغداد، مما يشير إلى إسهام كبير لمخلفات المدن. (Abdul Jabar & Thabit, 2021; Ali Abed et al., 2019)

3. التأثير الطولي (طيف التوزيع من الأعلى إلى الأسفل): قد تزيد تراكيز بعض المعادن في قطاعات أسفل المجاميع الحضرية والصناعية نتيجة لتراكم الملوثات وانتقالها مع التيار، بينما تقل مع مواقع أبعد عن المصادر المباشرة، لكن الترسبات المحلية قد تُعيد إطلاقها لاحقاً للعمود المائي (AI-Hussaini et al., 2018; Hameed et al., 2016).

4. التوزيع العرضي والعمودي: في مواقع القنوات والمخارج الضيقة تتكون جيوب ذات تركيز أعلى، كما تؤثر العوامل الموسمية (جفاف/مطر) على عمق وانتشار الملوثات، فالموسم الجاف يُظهر تركيزات أعلى بفعل التبخر وتركيز المياه.

تدعم بيانات هذه الدراسة ملاحظة أن الرصاص يتجاوز الحدود المسموح بها في معظم المواقع والمواسم، وهو ما يُرجع غالباً إلى مرافق صناعية، انبعاثات المرور (ترسيب جوي)، وتصريف مياه الصرف. (Karrari et al., 2012; Abdul Jabar & Thabit, 2021). كما أن وجود ارتفاعات محلية للنيل بالقرب من موقع محدد يرتبط بمصادر محددة مثل مصانع البطاريات (Thamer, 2011/2022). وتؤكد الأدلة أن ضعف معالجة مياه الصرف والتصريف المباشر يُفاقم مشكلة دخول المعادن الثقيلة إلى النهر. (Al-Musawi et al., 2017).

الآثار البيئية

1. تأثير على المجتمع الحيوي المائي: تراكيز المعادن الثقيلة يمكن أن تقلل التنوع الحيوي وتغير تركيب المجتمع البيئي. (Briffa et al., 2020) المعادن مثل الكروم والرصاص سامة للكائنات المائية حتى عند تراكيز منخفضة وتؤثر على النمو والتكاثر والسلوك.
2. ترسب وتراكم في الرواسب: تميل العديد من المعادن إلى الارتباط بالرسوبيات، ما يجعل قاع النهر خزانات طويلة الأمد للملوثات قد تعيد إطلاقها في ظروف كيميائية أو فيزيائية معينة (Maktoof et al., 2019; Zahraw et al., 2020).
3. البيوفالانيسيشن والانتقال الغذائي: تتراكم المعادن في الأنسجة الحيوانية والنباتات المائية، وتنتقل عبر السلسلة الغذائية إلى الأسماك والإنسان، ما يرفع المخاطر الإيكولوجية والسمية. (Simionov et al., 2019).

الآثار الصحية المحتملة على سكان بغداد

1. مخاطر في مياه الشرب: دخول المعادن مثل الرصاص والكروم والنيل إلى شبكات المياه أو المصادر المستخدمة محلياً للشرب يعرض السكان لمخاطر صحية حادة ومزمنة؛ فالرصاص مرتبط بتأثيرات عصبية، خصوصاً لدى الأطفال، والكروم والنيل قد يكونان مسرطنين أو مهيجين عند التعرض المستمر. (Karrari et al., 2012; Briffa et al., 2020).
2. التعرض المهني والمحيطي: العاملون في المصانع أو السكان القريبون من مجاري التفريغ يتعرضون مباشرة لمستويات أعلى من الملوثات، مع مخاطر تنفسية وجلدية ومعدية طويلة الأمد. تتوافق النتائج مع دراسات محلية وإقليمية سابقة تبين تفاقم التلوث المعدني في الأنهار العراقية بسبب الصرف الصناعي والمنزلي وعدم كفاية محطات المعالجة (Al-Ani et al., 2014; Al-Musawi et al., 2017; Olewi & Al-Dabbas, 2022). كما تدعم النتائج الاستنتاجات العامة حول أثر المواسم على تراكيز المعادن (ارتفاع في الجفاف/التبخّر) كما بينه (Edokpayi et al., 2017) ضمن سياقات دولية. الدراسات التي قيمت مستويات المعادن في رسوبيات ومجاري مائية أخرى في العراق أظهرت نمطاً مشابهاً لتركيز الرصاص والنيل والكروم كمصادر قلق أساسية (Rasheed et al., 2017; Hameed et al., 2016).

3. الخاتمة

تظهر هذه الدراسة أن مؤشرات التلوث تُعد وسيلة ناجحة ومفيدة لتلخيص البيانات بشكل واضح وبسيط، مما يساعد غير المتخصصين، وبخاصة صنّاع القرار، على مراجعة السياسات البيئية الخاصة بحماية نظام المياه السطحية. كما أثبتت الدراسة وجود تلوث ملحوظ بالمعادن الثقيلة في نهر دجلة، وبالأخص عنصر الرصاص (Pb) الذي تجاوزت تراكيزه الحدود المسموح بها، إضافةً إلى عناصر الحديد (Fe) والنيل (Ni) والكروم (Cr) التي تجاوزت في بعض الأحيان الحدود القياسية. ويُرجح أن زيادة تراكيز هذه المعادن مرتبطة بتصريف المخلفات الصناعية مباشرة في النهر دون معالجة، أو نتيجة المعالجة غير الكافية، مما يشكل تهديداً واضحاً لجودة المياه وصحة البيئة.

التوصيات

1. تعزيز المراقبة الجغرافية: تنفيذ برنامج مراقبة دوري ومكثف يشمل محطات أخذ عينات طولية وعرضية لتحديد النقاط الساخنة وتطوراتها الزمنية.
 2. تشغيل وتحديث محطات معالجة الصرف: تحسين كفاءة محطات معالجة مياه الصرف الصناعي والمنزلي، وفرض معايير تصريف صارمة وتفتيش منتظم.
 3. منع التصريف المباشر للمخلفات الصناعية: تطبيق قوانين رادعة على المصانع التي تفرغ مخلفاتها دون معالجة—خاصة مصانع البطاريات والأنشطة المعدنية.
 4. إجراءات وقائية لحماية الصحة العامة: فحص مستمر لمصادر مياه الشرب، برامج فحص صحي لمجموعات سكانية حساسة (الأطفال والنساء الحوامل)، وتوعية المجتمعات المحلية بشأن مخاطر استخدام مياه غير معالجة للري أو الشرب.
 5. إدارة الرسوبيات وإعادة تأهيل المناطق الحرجية: دراسات تقييم رسوبيات لإمكانية الاستصلاح أو إزالة الرواسب الملوثة في النقاط الحرجية.
- يوضح التحليل المكاني والمكاني أن التلوث بالمعادن الثقيلة في نهر دجلة في بغداد له طابع موضعي وموسمي؛ مصادر بشرية وصناعية تؤدي إلى نقاط ساخنة تمتد أثرها عبر السلسلة الغذائية ومصادر المياه، مما يستدعي تدخلات فنية وتشريعية عاجلة للحد من المخاطر البيئية والصحية.

المراجع:

- [1] Maktoof, A. A., Zahraw, Z., & Magtooph, M. G. (2020). Concentrations of some trace metals in water and sediment of main outfall drain in Al-Nassiriya city by using pollution indices. *AIP Conference Proceedings*, 2290, 020013–12. <https://doi.org/10.1063/5.0028595>
- [2] Aljanabi, Z. Z., Maktoof, A. A., Al-Khairalla, R. J., & Al-Aboody, B. A. (2021). Levels of some heavy elements in water, sediments and two aquatic plants in Al-Garraf river at Shatra district/ southern Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012055>
- [3] Zahraw, Z., Maktoof, A. A., Al-Obaidy, A. H. M. J., Abdul Kareem, L. M., Shakir, E., & Hassan, S. M. (2019). Estimation of heavy metal concentration for sediments of Shatt Al-Basrah canal by using ecological indices. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 10(1), 971–974. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.00213.4>
- [4] Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(e04691), 1–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- [5] Simionov, I. A., Cristea, V., Petrea, S. M., Mogodan, A., Nicoara, M., & Baltag, E. S. (2019). Bioconcentration of essential and nonessential elements in black sea turbot (*Psetta maxima maetotica* Linnaeus, 1758) in relation to fish gender. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(466), 1–18. <https://doi.org/10.3390/jmse7120466>

- [6] Abdul Jabar, M. A. B., & Thabit, J. A. (2021). Chemical pollution risks for many drinking water sources in Baghdad City, Iraq. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(2), 1203–1214.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/120767>
- [7] Al-Hussaini, S. N. H., Al-Obaidy, A. H. M. J., & Al-Mashhady, A. A. M. (2018). Environmental assessment of heavy metal pollution of Diyala River within Baghdad City. *Applied Water Science*, 8(3), 1–6.
<https://doi.org/10.1007/s13201-018-0707-9>
- [8] Hameed, A., Al-Obaidy, M. J., Al-Janabi, Z. Z., & Al-Mashhady, A. A. M. (2016). Distribution of some heavy metals in sediments and water in Tigris River. *Journal of Global Ecology and Environment*, 4(3), 140–146.
- [9] Hamdan, A. N. A. (2020). Assessment of heavy metals pollution in the Shatt Al-Arab River, Basra-Iraq. *AIP Conference Proceedings*, 2213, 1–10.
<https://doi.org/10.1063/5.0000300>
- [10] Al-Mayyahi, S. O. M., & Al-Zamili, H. A. A. (2019). Assessment of some heavy metals contamination in sediments of Tigris River in Kut City, Wasit Governorate, Iraq. *Journal of Physics: Conference Series*, 1234(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1234/1/012076>
- [11] Ratna, D. P. A., Anwar, M., Ridwan, A., Muhammad, H., & Annisa, U. R. (2021). Risk identification of heavy metals in well water surrounds watershed area of Pangkajene, Indonesia. *Gaceta Sanitaria*, 35(S1), S33–S37. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.010>
- [12] Al-Ani, R. R., Hameed, A., Jawad, M., Obaidy, A., & Badri, R. M. (2014). Assessment of water quality in the selected sites on the Tigris River, Baghdad-Iraq. *International Journal of Advanced Research*, 2(5), 1125–1131.
- [13] Alabdaba, W. M. Sh., Bahaa, Z., Hazzaa, M. M., & Resheq, A. S. (2015). Evaluation of the Tigris River water quality for domestic and irrigation uses near drinking water treatment. *International Journal of Management and Applied Science*, 1(9), 63–68.
- [14] Al-Musawi, T. J., Mohammed, I. A., & Atiea, H. M. (2017). Optimum efficiency of treatment plants discharging wastewater into river, case study: Tigris River within the Baghdad city in Iraq. *MethodsX*, 4, 445–456.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2017.10.009>
- [15] APHA. (2017). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- [16] Tanjung, R. H. R., Hamuna, B., & Alianto. (2019). Assessment of water quality and pollution index in coastal waters of Mimika, Indonesia. *Journal*

of *Ecological Engineering*, 20(2), 87–94.

<https://doi.org/10.12911/22998993/95266>

[17] Astuti, R. D. P., Mallongi, A., Amiruddin, R., Hatta, M., & Rauf, A. U. (2021). Risk identification of heavy metals in well water surrounds watershed area of Pangkajene, Indonesia. *Gaceta Sanitaria*, 35(S1), S33–S37.

<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.010>

[18] Iraqi Ministry of Health. (1967). *Law 25/1967 Rivers Maintaining System and General Water from Pollution*. Iraqi Official Gazette.

[19] Al-Janabi, Z. Z., Zaki, S. R., Alhassany, J. S., Hameed, A., Al-Obaidy, M. J., & Awad, E. S. (2019). Geochemical evaluation of heavy metals (Cd, Cr, Fe, and Mn) in sediment of Shatt Al-Basrah, Iraq. *Engineering and Technology Journal*, 37(2), 237–241. <http://dx.doi.org/10.30684/etj.37.2C.6>

[20] Oleiwi, A. S., & Al-Dabbas, M. (2022). Assessment of contamination along the Tigris River from Tharthar-Tigris Canal to Azizziyah, Middle of Iraq. *Water*, 14(1194), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w14081194>

[21] Karrari, P., Mehrpour, O., & Abdollahi, M. (2012). A systematic review on status of lead pollution and toxicity in Iran; Guidance for preventive measures. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(2), 1–17. <https://doi.org/10.1186/1560-8115-20-2>

[22] USEPA. (2022). Basic information about lead in drinking water. U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved from

<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-lead-drinking-water>

[23] Ali Abed, S., Hussein Ewaid, S., & Al-Ansari, N. (2019). Evaluation of water quality in the Tigris River within Baghdad, Iraq using multivariate statistical techniques. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294(7), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072025>

[24] Thamer, A. K. (2011). Efficiency of the design of wastewater treatment unit of Babil Batteries factory in Baghdad. *Journal of Engineering*, 9(1), 132–139.

[25] Rasheed, K. A., Flayyh, H. A., & Dawood, A. T. (2017). Study the concentrations of Ni, Zn, Cd and Pb in the Tigris River in the city of Baghdad. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(1), 196–201.

[26] Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, E. O., & Msagati, T. A. M. (2017). Evaluation of temporary seasonal variation of heavy metals and their potential ecological risk in Nzhelele River, South Africa. *Open Chemistry*, 15, 272–282. <https://doi.org/10.1515/chem-2017-0030>

Abstract

The Tigris River is the main water source in Baghdad, serving domestic, agricultural, and industrial needs. However, increasing human activities, particularly industrial discharges, have led to elevated levels of heavy metal pollution in its waters. This study aimed to evaluate the spatial distribution of selected heavy metals, including lead (Pb), iron (Fe), nickel (Ni), and chromium (Cr), in different sites of the river within Baghdad, using the Pollution Index (PI) and Metal Index (MI) during the dry and wet seasons. Results revealed that some metal concentrations exceeded both Iraqi and international permissible limits, with lead (Pb) being the most critical pollutant, consistently surpassing standard values. Furthermore, PI and MI values were higher in the dry season compared to the wet season, mainly due to increased evaporation and reduced water discharge. These findings highlight a significant environmental and public health risk resulting from heavy metal accumulation in the river system, emphasizing the urgent need for stricter environmental policies and effective monitoring of industrial wastewater discharges to protect water quality in Baghdad.

Keywords: Tigris River heavy metals; lead (Pb); Pollution Index (PI); Metal Index (MI); spatial distribution; environmental risks; public health.