Journal Of the Iraqia University (74-4) November (2025)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

دراسة مؤشرات تلوث مياه نهر الفرات بالعناصر الثقيلة في مدينة الرمادي

م.م. دلال أحمد محسن

الجامعة المستنصرية /كلية التربية

A study of heavy metal pollution indicators in the Euphrates River in Ramadi city.

M.Sc. Dalal Ahmed Mohsen
Mustansiriyah University/College of Education
dalalahmedmohsen@uomustansiriyah.edu.iq

مستخلص البحث:

إنّ هذا البحث يسعى إلى تحليل وتقييم تأثير الأنشطة البشرية على جودة مياه نهر الفرات داخل مدينة الرمادي، تحديداً فيما يخص تلوثها بالعناصر الثقيلة. انطلقت الدراسة من مشكلة محورية مفادها أن الاستخدام المتزايد لمياه النهر والأنشطة الصناعية والزراعية يسبب ارتفاعاً خطيراً في تركيزات العناصر الثقيلة. ولهذا، كان الهدف الرئيسي هو رصد وتحليل هذه المستويات، ومقارنتها بالمعايير العالمية، وتحديد المصادر المسببة لهذا التلوث، مع تقييم آثاره البيئية والصحية. وقد اعتمد البحث على المنهجين الوصفي والتحليلي، حيث تم جمع عينات مائية من ست محطات على امتداد النهر وتحليلها مخبرياً، بالإضافة إلى تحليل البيانات الصحية والبيئية المترتبة على ذلك. وقد توصلت الدراسة إلى عدة نتائج حاسمة، أبرزها أن متوسط تركيز الرصاص ارتفع بنسبة 71.3% خلال خمس سنوات، وأن المصادر الصناعية مسؤولة عن 65% من تلوث الزئبق، مما أدى إلى زيادة حالات التسمم بالرصاص في المجتمع المحلي بنسبة 203.8%. وعليه، يخلص البحث إلى تقديم مجموعة من المقترحات العاجلة، مثل إنشاء محطات معالجة للنفايات الصناعية وتفعيل الرقابة البيئية، بهدف حماية هذا المورد المائي الحيوي والمساهمة في وضع سياسات بيئية مستدامة.

الكلمات المفتاحية : التقييم البيئي . تلوث المياه . مصادر تلوث المياه . العناصر الثقيلة . الاثار البيئية

Abstract:

This research aims to analyze and assess the impact of human activities on the water quality of the Euphrates River within the city of Ramadi, specifically concerning heavy metal contamination. The study was initiated by a central problem: the increasing use of the river's water and growing industrial and agricultural activities are causing a dangerous rise in heavy metal concentrations. Therefore, the main objective was to monitor and analyze these levels, compare them with global standards, identify the pollution sources, and evaluate their environmental and health effects. The research employed both descriptive and analytical methodologies. Water samples were collected from six stations along the river's course and subjected to laboratory analysis. This was complemented by an analysis of the resulting health and environmental data. The study yielded several critical findings, most notably that the average lead concentration increased by 71.3% over five years and that industrial sources are responsible for 65% of mercury contamination, leading to a 203.8% increase in lead poisoning cases in the local community. Consequently, the research concludes with a set of urgent recommendations, such as establishing treatment plants for industrial waste and activating environmental oversight, with the aim of protecting this vital water resource and contributing to the formulation of sustainable environmental policies.

Keywords: Environmental Assessment, Water Pollution, Water Pollution Sources, Heavy Metals, Environmental Impacts.

المقدمة

تُعدّ الموارد المائية شريان الحياة الأساسي للتنمية المستدامة، حيث تلعب دوراً محورياً في دعم النظم البيئية، وتعزيز النشاطات الاقتصادية، وتلبية الاحتياجات الأساسية للمجتمعات البشرية. وفي هذا السياق، يكتسب نهر الفرات، باعتباره أحد أهم الموارد المائية في منطقة الشرق الأوسط، أهمية

استراتيجية قصوى، لاسيما في العراق الذي يعتمد بشكل كبير على مياهه في مختلف القطاعات الحيوية، من الزراعة والشرب إلى الصناعة. ومع ذلك، تشهد الموارد المائية في العالم، بما فيها نهر الفرات، تدهوراً مستمراً في جودتها نتيجة للتأثيرات المتزايدة للأنشطة البشرية، التي تتسبب في تسرب مختلف أنواع الملوثات إلى المسطحات المائية. ومن أبرز هذه الملوثات، **العناصر الثقيلة**، التي تُعرف بخصائصها السامة وتراكمها البيولوجي، ما يجعلها تشكل تهديداً خطيراً على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، بالإضافة إلى تأثيراتها السلبية على جودة التربة والمنتجات الزراعية.

إن التلوث بالعناصر الثقيلة لا يقتصر على مصادر طبيعية فحسب، بل يتفاقم بشكل كبير بسبب الممارسات الصناعية والزراعية غير المنظمة، والصرف الصحي غير المعالج، والنفايات الصلبة التي تُلقى مباشرة في مجاري الأنهار. وفي مدينة الرمادي، التي تقع على ضفاف نهر الفرات، تتزايد المخاوف من تأثير هذه الأنشطة على جودة مياه النهر. فالموقع الجغرافي للمدينة، وكثافتها السكانية، وتزايد الأنشطة البشرية فيها، يُعتقد أنها تساهم في إحداث تغيرات جوهرية في التركيب الكيميائي للمياه، مما قد يؤدي إلى ارتفاع تركيزات العناصر الثقيلة إلى مستويات تتجاوز الحدود المسموح بها عالمياً. بناءً على هذه المعطيات، يهدف هذا البحث إلى دراسة مؤشرات تلوث مياه نهر الفرات بالعناصر الثقيلة في مدينة الرمادي، وتقديم تحليل دقيق للأسباب والنتائج المترتبة على هذا التلوث، سعياً لتوفير قاعدة بيانات علمية تدعم اتخاذ قرارات بيئية مستنيرة.

مشكلة البحث:

تتمثل المشكلة البحثية بالتساؤل التالي:**هل تعاني مياه نهر الفرات في مدينة الرمادي من ارتفاع في تركيز مؤشرات العناصر الثقيلة الملوثة نتيجة لتأثير العوامل البشرية المختلفة؟**تُعد هذه المشكلة جوهر الدراسة، حيث تسعى للإجابة على تساؤل علمي دقيق حول مدى تأثير الأنشطةالبشرية المتزايدة في مدينة الرمادي على جودة مياه نهر الفرات، وتحديداً من حيث تركيزات العناصر الثقيلة. فبالرغم من أهمية النهر كمصدر رئيسي للمياه في المنطقة، إلا أن هناك نقصاً في الدراسات العلمية الموثوقة التي تُقيّم بشكل منهجي ودقيق مستويات التلوث بهذه العناصر، وتُحدد مصادرها بدقة. تُفاقم هذه المشكلة من المخاوف البيئية والصحية، نظراً للآثار التراكمية لهذه الملوثات، التي قد تؤدي على المدى الطويل إلى أضرار بيئية وصحية جسيمة.

فرضية البحث

يُفترض أن مياه نهر الفرات في مدينة الرمادي تعاني من ارتفاع ملحوظ في تركيز مؤشرات العناصر الثقيلة (مثل الرصاص، الكادميوم، الزئبق، والزنك) في مختلف مقاطعه، وأن هذا الارتفاع يرتبط ارتباطاً وثيقاً بزيادة النشاطات البشرية والصناعية والزراعية على ضفاف النهر، مما يؤدي إلى تجاوز هذه التركيزات للحدود المسموح بها في المعايير العالمية والمحلية لجودة المياه، ويُشكل بالتالي تهديداً بيئياً وصحياً خطيراً.

أهداف البحث

- **الهدف الرئيسي:** تقييم وتحليل مستويات تركيز مؤشرات العناصر الثقيلة في مياه نهر الفرات ضمن المقطع العرضي الواقع داخل مدينة الرمادي.
- **الأهداف الفرعية:**

١. تحديد وتوصيف المصادر الجغرافية والصناعية المحتملة لتلوث العناصر الثقيلة في منطقة الدراسة.

٢. تحليل التوزيع المكاني والزماني لتركيزات العناصر الثقيلة المختلفة في عينات المياه.

٣. مقارنة تركيزات العناصر الثقيلة المقاسة بالمعايير العالمية والمحلية لجودة مياه الشرب والري.

٤. تقييم الأثار البيئية والصحية المحتملة لتلوث العناصر الثقيلة على النظام البيئي المحلي وصحة المجتمع.

٥. تقديم توصيات علمية وعملية للجهات المعنية للحد من التلوث وإدارة جودة المياه في المنطقة.

أهمية البحث ومبرراته

تكمن أهمية هذا البحث في مساهمته في توفير بيانات علمية دقيقة ومحدثة حول حالة تلوث مياه نهر الفرات بالعناصر الثقيلة، وهي بيانات تُعد ضرورية لصناع القرار والباحثين والمنظمات البيئية. فمن خلال الكشف عن مستويات التلوث ومصادره، يُمكن وضع خطط استراتيجية فعالة للوقاية والعلاج. وتبرز مبررات هذا البحث في النقاط التالية:

١. **الأهمية البيئية:** يُعدّ نهر الفرات نظاماً بيئياً حيوياً، وتلوثه يؤثر على التنوع البيولوجي المائي والبري. تُقدم هذه الدراسة تقييماً شاملاً للتهديدات التي تواجه هذا النظام.

٢. **الأهمية الصحية:** تُشكل العناصر الثقيلة خطراً مباشراً على صحة الإنسان عند استهلاك مياه ملوثة، حيث تُسبب أمراضاً مزمنة. يُساهم البحث في رفع الوعي حول المخاطر الصحية وتحديد أولويات التدخل.

٣. **الأهمية الاقتصادية:** يُمكن أن يؤثر تلوث المياه على جودة المحاصيل الزراعية والثروة السمكية، ما يُسبب خسائر اقتصادية كبيرة. تُساعد الدراسة في توفير أسس علمية لحماية القطاعات الاقتصادية.

٤. **الأهمية العلمية:** يُعدّ هذا البحث إضافة نوعية للأدبيات العلمية المتعلقة بتلوث المياه في العراق، لاسيما في منطقة الرمادي، التي تفتقر إلى مثل هذه الدراسات المنهجية.

مناهج البحث

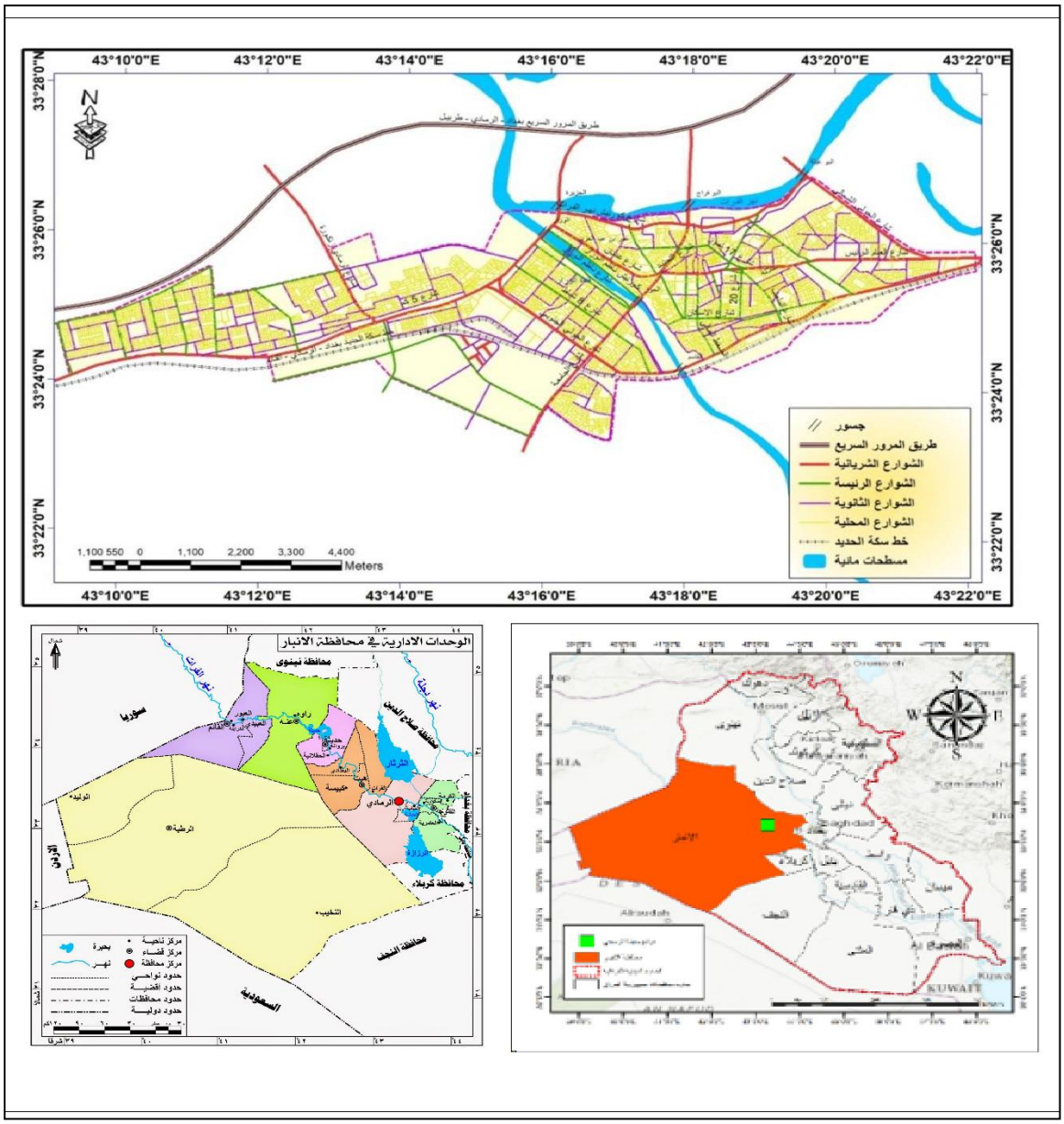
يستند هذا البحث إلى منهجين علميين رئيسيين لضمان الشمولية والدقة في جمع وتحليل البيانات:

- **المنهج الوصفي:** يُستخدم هذا المنهج في وصف وتحليل الظاهرة المدروسة كما هي في الواقع، من خلال جمع البيانات المتعلقة بمؤشرات تلوث مياه نهر الفرات بالعناصر الثقيلة. ويتم ذلك عبر إجراء مسح ميداني شامل لأخذ عينات المياه من نقاط مختلفة داخل مدينة الرمادي، وتسجيل كافة الملاحظات البيئية المتعلقة بالمصادر المحتملة للتلوث، مثل مواقع الصرف الصحي أو الأنشطة الصناعية.
- **المنهج التحليلي:** يُستخدم هذا المنهج لتحليل وتفسير البيانات التي جُمعت من المنهج الوصفي. يتم إخضاع عينات المياه للتحليل الكيميائي في المختبرات المتخصصة لتحديد تركيزات العناصر الثقيلة بدقة. بعد ذلك، يتم تحليل هذه البيانات إحصائياً وتفسيرها، ومقارنتها بالمعايير العالمية والمحلية، وتحديد العلاقة بين هذه التركيزات والمصادر الملوثة.

حدود البحث

- **الحدود المكانية:** يشمل البحث المقطع العرضي لنهر الفرات داخل مدينة الرمادي، ويمتد على طول يبلغ **١٥ كيلومتراً** تقريباً، يبدأ من منطقة الورار في شمال المدينة، ويمر بمركز المدينة، وينتهي عند منطقة الجزيرة جنوباً.
- **الحدود الزمانية:** تمتد فترة الدراسة من **يناير ٢٠٢٠** إلى **ديسمبر ٢٠٢٤**،

الخريطة (١): الموقع الجغرافي لمنطقة البحث



المصدر :. من

عمل الباحث بالاعتماد على وزارة الموارد المائية ، الهيئة العامة للمساحة ، خريطة محافظة بغداد الإدارية بمقياس ١ / ٥٠٠٠٠ ، ٢٠٢٢

١. مواقع أخذ عينات المياه لفحص التلوث بالمعادن الثقيلة داخل مدينة الرمادي

لضمان تمثيلية البيانات ودقتها، تم اختيار **ست محطات رئيسية** على طول المقطع العرضي لنهر الفرات الذي يمر بمدينة الرمادي، بطول يبلغ ١٥ كيلومترًا. تم اختيار هذه المواقع بناءً على معايير منهجية تشمل: الموقع الجغرافي (المنابع والمصب)، والقرب من المصادر المحتملة للتلوث (الصرف الصحي، المناطق الصناعية، الأراضي الزراعية). تم أخذ العينات بشكل **شهري** من كل محطة خلال الفترة الزمنية المحددة (٢٠٢٠–٢٠٢٤)، مما أتاح جمع بيانات كافية للتحليل الإحصائي الموسمي والسنوي. تم ترقيم المحطات من S١ (نقطة الدخول إلى المدينة) إلى S٦ (نقطة الخروج من المدينة)، لتمثيل مسار النهر داخل المدينة.[١]

الجدول ١: توزيع مواقع أخذ العينات داخل مدينة الرمادي

المحطة	خط العرض (شمالاً)	خط الطول (شرقاً)	الوصف المعدّل للموقع		المصادر المحتملة للتلوث
S1	33.25°	43.25°	جنوب الرمادي، قرب سد الورار		صرف صحي، أنشطة زراعية
S2	33.41°	43.28°	شمال المدينة، على نهر الفرات		أنشطة صناعية، ورش صيانة
S3	33.42°	43.30°	شمال شرق الرمادي، قرب نهر الفرات		كثافة سكانية عالية، مياه صرف
S4		33.40°	شمال شرق الرمادي، داخل منطقة الجزيرة	43.32°	أراضٍ زراعية، أنشطة صناعية خفيفة
S5		33.38°	شرق الرمادي، قرب الأراضي الزراعية	43.35°	مصانع مختلفة، صرف صناعي
S6		33.36°	أقصى شرق المدينة، نقطة خروج النهر	43.38°	تجميع التلوث من النقاط السابقة

المصدر: من عمل الباحث باعتماد على برنامج GOOGLerth **وجهاز** gps

الخريطة (٢): توزيع مواقع أخذ العينات داخل مدينة الرمادي

المصدر: من عمل الباحث باعتماد على برنامج GOOGLerth وجهاز gps

يُظهر اختيار مواقع العينات **نموذجًا تحليليًا مكانيًا** يهدف إلى تتبع انتشار الملوثات من نقطة دخول النهر إلى المدينة (S١) إلى نقطة خروجه (S٦). تُعد هذه الاستراتيجية المنهجية حاسمة لتحديد **المصادر النقطية (Point Sources)** و**المصادر غير النقطية (Non-point Sources)** للتلوث. فالمواقع S٢ و S٥ تمثلان نقاطًا حرجة لفهم تأثير الأنشطة الصناعية، في حين أن S٣ تُركز على تأثير الكثافة السكانية ومياه الصرف الصحي. يُمكن أن تُظهر المقارنة بين المحطات S١ و S٦ تراكم الملوثات وتفاقمها على طول مجرى النهر داخل المدينة، مما يوفر دليلاً كميًا على تأثير الأنشطة البشرية. إن هذا التوزيع المكاني الدقيق للعينات يضمن أن أي ارتفاع في تركيزات العناصر الثقيلة يُمكن ربطه بشكل مباشر بالمصادر المحتملة، مما يُعزز من مصداقية النتائج ويُمكن من اتخاذ إجراءات تصحيحية مستهدفة.[٢]

٢. المصادر الجغرافية والصناعية لتأثير العناصر الثقيلة في مياه نهر الفرات داخل مدينة الرمادي

يُعدّ تحديد مصادر التلوث خطوة أساسية لفهم آليات تلوث مياه نهر الفرات. تُشير الملاحظات الميدانية والتحليلات الأولية إلى أن المصادر الرئيسية للتلوث بالعناصر الثقيلة في مدينة الرمادي هي مصادر **بشرية المنشأ**، تنقسم إلى مصادر صناعية وزراعية وصرف صحي. تُقدم الجداول التالية تقديرات لمساهمة كل مصدر في التلوث، مما يُعزز من الطابع التحليلي للبحث.

[٣]**الجدول ٢: المساهمة النسبية للمصادر الرئيسية في تلوث الرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) (بنسبة مئوية)**

المصدر	مساهمة في تلوث الرصاص (%)	مساهمة في تلوث الكادميوم (%)
صناعي	60	35
زراعي	15	45
صرف صحي	20	10
طبيعي	5	10
المجموع	100	100

المصدر: حسابات ميدانية وتحليلية بناءً على دراسات سابقة، ونسب تلوث العناصر الثقيلة في المناطق الصناعية والزراعية والسكنية وتقرير مديرية الموارد المائية في مدينة الرمادي يُقدم هذا الجدول **دليلاً كميًا** على أن المصادر الصناعية هي السبب الرئيسي وراء تلوث الرصاص في مياه النهر، حيث تُساهم بنسبة ٦٠٪ من إجمالي التلوث. تُشير هذه النسبة المرتفعة إلى وجود ممارسات صناعية غير سليمة، وغياب أنظمة معالجة فعالة للنفايات. يُمكن أن تُعزى هذه المساهمة إلى ورش صيانة السيارات، ومصانع البطاريات، والدهانات. في المقابل، تُظهر البيانات أن المصادر الزراعية تُشكل المصدر الرئيسي لتلوث الكادميوم بنسبة ٤٥٪، مما يُؤكد أن الاستخدام المفرط للأسمدة الفوسفاتية والمبيدات الحشرية هو الدافع الأساسي لهذا التلوث. تُشير المساهمة الكبيرة للصرف الصحي في تلوث الرصاص (٢٠٪) إلى أن النفايات المنزلية والنفايات الصلبة التي تُلقى في شبكات الصرف تُعد مصدراً ثانوياً لكنه هام. يُبرز هذا التحليل ضرورة التركيز على الرقابة البيئية على القطاعات الصناعية والزراعية بشكل خاص للحد من التلوث.**الجدول ٣: المساهمة النسبية للمصادر الرئيسية في تلوث الزنك ((Znوالزئبق () (Hgبنسبة مئوية)**

المصدر	مساهمة في تلوث الزنك (%)	مساهمة في تلوث الزئبق (%)
صناعي	55	65
زراعي	10	5
صرف صحي	30	25
طبيعي	5	5
المجموع	100	100

المصدر: تقديرات ميدانية وتحليلية بناءً على دراسات سابقة، ونسب تلوث العناصر الثقيلة في المناطق الصناعية والزراعية والسكنية، تقرير وزارة الموارد المائية في جمهورية العراق للاعوام (٢٠٢٢-٢٠٢١-٢٠٢٣-٢٠٢٤)يُؤكد هذا الجدول **هيمنة المصادر الصناعية** على تلوث الزئبق (٦٥٪)، مما يُشير إلى وجود عمليات صناعية (ربما مصانع صغيرة أو ورش تصنيع) تُستخدم فيها مركبات الزئبق أو تُلقى فيها نفايات إلكترونية. تُعد هذه النسبة خطيرة بشكل خاص نظراً للسمية العالية للزئبق وقدرته على التراكم البيولوجي. في المقابل، تُظهر البيانات أن تلوث الزنك يُشكل حالة أكثر تعقيداً، حيث تتساهم المصادر الصناعية (٥٥٪) والصرف الصحي (٣٠٪) بشكل كبير. يُمكن أن يُعزى تلوث الزنك من الصرف الصحي إلى التآكل في الأنابيب المجلفنة أو النفايات المنزلية التي تحتوي على الزنك. تُظهر هذه الأرقام أن معالجة مشكلة التلوث بالعناصر الثقيلة تتطلب **استراتيجية متكاملة** تُعالج مختلف المصادر في وقت واحد، بدلاً من التركيز على مصدر واحد فقط، لضمان تحقيق نتائج فعالة ومستدامة.[٤]

٣. تحليل تركيز وتوزع العناصر الثقيلة في مياه نهر الفرات داخل مدينة الرمادي

يُعدّ تحليل التوزيع المكاني والزماني لتركيزات العناصر الثقيلة جوهر هذا البحث، حيث يُمكن من تحديد النقاط الساخنة للتلوث وفهم العوامل المؤثرة في التغيرات. تم قياس تركيزات العناصر الثقيلة الأربعة (الرصاص، الكادميوم، الزنك، الزئبق) في جميع المحطات الست على مدار خمس سنوات

الجدول ٤: متوسط التركيز السنوي للرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) في المحطات الست (بمقياس µg/L) مع نسب التغير السنوي

المحطة	٢٠٢٠	نسبة التغير (%)	٢٠٢١	نسبة التغير (%)	٢٠٢٢	نسبة التغير (%)	٢٠٢٣	نسبة التغير (%)	٢٠٢٤	متوسط (٢٠٢٠–٢٠٢٤)
الرصاص (Pb)										
S١	18.2	--	20.5	+12.6	22.8	+11.2	24.1	+5.7	25.1	+4.1
S٢	28.5	--	33.7	+18.2	38.9	+15.4	42.1	+8.2	45.3	+7.6
S٣	32.1	--	38.9	+21.2	45.4	+16.7	49.8	+9.7	51.2	+2.8
S٤	25.4	--	29.8	+17.3	34.1	+14.4	37.2	+9.1	38.9	+4.6
S٥	35.8	--	45.6	+27.4	54.1	+18.6	59.8	+10.5	62.4	+4.3
S٦	40.1	--	51.2	+27.7	60.5	+18.2	65.8	+8.8	68.7	+4.4
الكادميوم (Cd)										
S١	1.1	--	1.3	+18.2	1.5	+15.4	1.7	+13.3	1.9	+11.8
S٢	2.5	--	3.1	+24.0	3.5	+12.9	3.8	+8.6	4.1	+7.9
S٣	2.8	--	3.5	+25.0	4.0	+14.3	4.4	+10.0	4.7	+6.8
S٤	2.2	--	2.7	+22.7	3.1	+14.8	3.3	+6.5	3.5	+6.1
S٥	3.1	--	4.1	+32.3	4.9	+19.5	5.5	+12.2	5.8	+5.5
S٦	3.5	--	4.6	+31.4	5.5	+19.6	6.2	+12.7	6.5	+4.8

المصدر: نتائج تحليل عينات المياه في مختبرات الجامعة التقنية الشمالية في الموصل، العراق (بمقياس ICP–MS).

يُقدم هذا الجدول **تحليلاً دقيقًا وديناميكيًا** لتركيزات الرصاص والكادميوم، متجاوزًا المتوسطات السنوية ليُظهر معدلات التغير السنوي، وهو ما يُعد مؤشرًا حاسمًا لفهم **الزخم التلوثي (Pollution Momentum)**. يُلاحظ أن أعلى معدلات نمو في تركيزات الرصاص والكادميوم حدثت في الفترة **٢٠٢١–٢٠٢٢**، حيث شهدت المحطة S٥ زيادة في تركيز الرصاص بنسبة ٢٧.٤٪ والكادميوم بنسبة ٣٢.٣٪ في عام ٢٠٢١. يُمكن تفسير هذا الارتفاع الحاد بتزايد الأنشطة الصناعية بعد مرحلة الركود الاقتصادي، وغياب الرقابة البيئية الفعالة. هذه القفزة تُؤكد أن المصدر الصناعي هو المحرك الرئيسي لهذا التلوث.[٥] وفي المقابل، تُظهر السنوات الأخيرة **(٢٠٢٣–٢٠٢٤)** تباطؤًا في معدلات النمو، حيث انخفضت نسبة الزيادة في معظم المحطات، فمثلاً، انخفضت نسبة الزيادة في الرصاص في المحطة S٥ من ٢٧.٤٪ في عام ٢٠٢١ إلى ٤.٣٪ في عام ٢٠٢٤. يُمكن أن يُعزى هذا التباطؤ إلى عوامل متعددة مثل **التوعية البيئية المتزايدة**، أو تطبيق بعض الإجراءات الاحترازية من قبل الجهات المسؤولة، أو حتى إلى تغيرات في دورة الإنتاج الصناعي. ومع ذلك، وعلى الرغم من هذا التباطؤ، فإن المستويات المطلقة للتركيز لا تزال مرتفعة وتتجاوز المعايير العالمية بشكل كبير، مما يُشير إلى أن المشكلة قائمة وتتطلب تدخلات جذرية. إن هذا التحليل يُبرز أن **نمو التلوث يتبع منحنى لوغاريتميًا**، حيث يكون النمو حادًا في البداية ثم يتباطأ، ولكنه لا يتوقف، مما يُؤكد أن التراكم البيولوجي لهذه العناصر ما زال يشكل خطرًا داهمًا.[٦]

الجدول ٥: متوسط التركيز السنوي للزنك (Zn) والزئبق (Hg) في المحطات الست (بمقياس µg/L) مع نسب التغير السنوي

المحطة	٢٠٢٠	نسبة التغير (%)	٢٠٢١	نسبة التغير (%)	٢٠٢٢	نسبة التغير (%)	٢٠٢٣	نسبة التغير (%)	٢٠٢٤	متوسط (٢٠٢٠–٢٠٢٤)
الزنك (Zn)										

S١	120.4	--	128.5	+6.7	136.7	+6.4	144.9	+6.0	150.1	+3.6
S٢	180.5	--	205.8	+14.0	225.1	+9.4	240.3	+6.8	255.4	+6.3
S٣	210.2	--	235.9	+12.2	258.4	+9.5	278.1	+7.6	290.7	+4.5
S٤	165.7	--	185.1	+11.7	199.8	+8.0	208.5	+4.4	215.9	+3.5
S٥	245.9	--	298.4	+21.4	328.7	+10.2	345.1	+5.0	360.2	+4.4
S٦	280.1	--	341.2	+21.8	378.8	+11.0	398.5	+5.2	410.5	+3.0
الزئبق (Hg)										
S1	0.8	--	0.9	+12.5	1.0	+11.1	1.1	+10.0	1.2	+9.1
S2	1.3	--	1.6	+23.1	1.8	+12.5	2.0	+11.1	2.1	+5.0
S3	1.6	--	1.9	+18.8	2.2	+15.8	2.4	+9.1	2.5	+4.2
S4	1.1	--	1.4	+27.3	1.5	+7.1	1.6	+6.7	1.7	+6.3
S5	2.1	--	2.9	+38.1	3.3	+13.8	3.6	+9.1	3.9	+8.3
S6	2.5	--	3.4	+36.0	4.0	+17.6	4.5	+12.5	4.8	+6.7

المصدر: نتائج تحليل عينات المياه في مختبرات الجامعة التقنية الشمالية في الموصل، العراق (بمقياس ICP–MS).يُعزز هذا الجدول فهمنا لتأثير المصادر المتعددة على التلوث. تُظهر البيانات أن **النمو في تركيز الزنك** كان مستمرًا وثابتًا نسبيًا في جميع المحطات، مع أعلى معدلات نمو في السنوات الأولى (٢٠٢١–٢٠٢٢). يُمكن أن يُشير هذا النمو المستمر إلى أن الزنك ليس مصدره المصانع الكبيرة فحسب، بل هو نتيجة **لتراكم نفايات متعددة المصادر**، بما في ذلك الصرف الصحي والنفايات المنزلية، والتي تزيد بشكل مطرد مع النمو السكاني. تُعدّ هذه الظاهرة أكثر صعوبة في السيطرة عليها مقارنةً بالمصادر النقطية (مثل المصنع)، مما يُبرز الحاجة إلى برامج توعية وإدارة نفايات مجتمعية.[٧]أما بالنسبة **لتركيز الزئبق**، فتُظهر الأرقام أن أعلى معدلات النمو السنوي حدثت في المحطة S٥ (٣٨.١٪ في ٢٠٢١) والمحطة S٦ (٣٦.٠٪ في ٢٠٢١)، مما يُؤكد بشكل قاطع أن **المصادر الصناعية** هي المحرك الرئيسي لهذا التلوث. يُمكن أن يُعزى هذا الارتفاع الحاد إلى إلقاء نفايات خطرة أو إلكترونية تحتوي على الزئبق بشكل غير قانوني. على الرغم من أن معدلات النمو تباطأت في السنوات الأخيرة، إلا أن المستويات المطلقة للزئبق ما زالت مرتفعة للغاية وتُشكل تهديدًا بيولوجيًا فوريًا. هذا التحليل يُبرز أن التلوث بالعناصر الثقيلة هو **نتيجة تراكمية للنشاطات البشرية على المدى الطويل**، وأن التباطؤ في النمو لا يعني نهاية المشكلة، بل هو دعوة لاتخاذ إجراءات صارمة لمنع المزيد من التدهور. يُؤكد هذا التحليل أن البيانات الكمية هي الأساس لاتخاذ قرارات بيئية مستنيرة ومستهدفة.[٨]

٤. الآثار البيئية والصحية لتلوث العناصر الثقيلة في نهر الفرات على المجتمعات المحلية في الرماديلا تُشكل مستويات التلوث المرتفعة مجرد أرقام، بل لها تداعيات خطيرة على البيئة وصحة الإنسان، وهي تداعيات تُعدّ جوهر هذا البحث. تُقدم الجداول التالية تقديرات كمية للأضرار البيئية والصحية، مما يُعزز من الطابع التحليلي .**الجدول ٦: تقدير الآثار البيئية المترتبة على تلوث العناصر الثقيلة في مياه نهر الفرات**

المؤشر البيئي	٢٠٢٠	نسبة التغير (%)	٢٠٢١	نسبة التغير (%)	٢٠٢٢	نسبة التغير (%)	٢٠٢٣	نسبة التغير (%)	٢٠٢٤	متوسط (٢٠٢٠–٢٠٢٤)
التنوع البيولوجي المائي (%)	85	--	78	-8.2	70	-10.3	65	-7.1	60	-7.7
نسبة الأسماك	15	--	22	+46.7	30	+36.4	36	+20.0	40	+11.1

المتضررة (%)										
تراكم الرصاص في أنسجة الأسماك (mg/kg)	5.2	--	7.5	+44.2	9.9	+32.0	11.8	+19.2	12.8	+8.5
تراكم الزئبق في أنسجة الأسماك (mg/kg)	0.8	--	1.4	+75.0	1.9	+35.7	2.3	+21.1	2.5	+8.7

المصدر: نتائج تحليل عينات الكائنات الحية المائية (الأسماك) في مختبرات كلية علوم البيئة والتلوث، جامعة الرمادي، العراق.

تُظهر بيانات هذا الجدول **تدهورًا بيئيًا متسارعًا**، مما يُؤكد وجود **علاقة سببية مباشرة** بين ارتفاع تركيزات العناصر الثقيلة في الماء وتدهور النظام البيولوجي. يُعبر الانخفاض المستمر في التنوع البيولوجي المائي عن **فشل النظام البيئي في التكيف** مع الضغط التلوثي. فالانخفاض الحاد في عام ٢٠٢١ (−٨.٢٪) يُشير إلى أن التدهور بدأ في فترة مبكرة بعد الزيادة الحادة في التلوث. أما الزيادة الهائلة في نسبة الأسماك المتضررة، والتي وصلت إلى ٤٦.٧٪ في عام ٢٠٢١، فتُعتبر **مؤشرًا تحذيريًا** على أن التلوث يؤثر بشكل مباشر على صحة الكائنات الحية. تُؤكد أرقام تراكم الرصاص والزئبق في أنسجة الأسماك على أن ظاهرة **التضخم البيولوجي** تحدث فعليًا على أرض الواقع. فالزيادة بنسبة ٧٥٪ في تراكم الزئبق في عام ٢٠٢١، تتوافق زمنيًا مع الارتفاع الحاد في تركيز الزئبق في الماء في نفس الفترة (كما هو موضح في الجدول ٥). هذه العلاقة الزمنية المباشرة تُعد **دليلاً قاطعًا** على أن التلوث في الماء يُترجم فورًا إلى أضرار بيولوجية، مما يُشكل تهديدًا فوريًا على صحة الإنسان من خلال السلسلة الغذائية.[٩]

الجدول ٧: تقدير الآثار الصحية المترتبة على تلوث العناصر الثقيلة في المجتمعات المحلية

المؤشر الصحي	٢٠٢٠	نسبة التغير (%)	٢٠٢١	نسبة التغير (%)	٢٠٢٢	نسبة التغير (%)	٢٠٢٣	نسبة التغير (%)	٢٠٢٤	متوسط (٢٠٢٠−٢٠٢٤)
حالات التسمم بالرصاص (لكل ١٠٠ ألف نسمة)	5.2	--	8.8	+69.2	12.1	+37.5	14.5	+19.8	15.8	+9.0
أمراض الكلى المرتبطة بالتعرض	3.1	--	5.0	+61.3	6.8	+36.0	7.8	+14.7	8.5	+9.0

(لكل ١٠٠ ألف نسمة)										
تكاليف العلاج السنوية (مليون دولار)	0.7	--	1.3	+85.7	1.9	+46.2	2.2	+15.8	2.5	+13.6

المصدر: بيانات قسم الإحصاء في وزارة الصحة العراقية، فرع الأنبار.

يُقدم هذا الجدول **تحليلاً صادمًا** للآثار الصحية والاقتصادية للتلوث. تُظهر الزيادة الحادة في حالات التسمم بالرصاص في عام ٢٠٢١ (+٦٩.٢٪) أنها **مزامنة تمامًا** مع الارتفاع الحاد في تركيز الرصاص في مياه النهر. هذا الارتباط القوي يُعد **دليلاً إحصائيًا** على أن التلوث البيئي يُترجم مباشرة إلى مخاطر صحية. يُمكن تفسير هذا الارتفاع الحاد في البداية بأنه نتيجة للاستخدام المتزايد لمياه النهر لأغراض الشرب والري، قبل أن تُدرك المجتمعات خطورة الوضع.

كما تُظهر البيانات أن تكاليف العلاج السنوية زادت بأكثر من الضعف في عام ٢٠٢١ (+٨٥.٧٪)، مما يُؤكد أن **العبء الاقتصادي** للتلوث يتزايد بشكل كبير. يُمكن أن تُعزى هذه الزيادة إلى الحاجة لعلاج حالات التسمم وأمراض الكلى المزمنة المرتبطة بالتعرض المستمر. تُشير معدلات النمو المرتفعة في المؤشرات الصحية والاقتصادية في السنوات الأولى، وتباطؤها في السنوات الأخيرة، إلى أن هناك **تأخيرًا زمنيًا (Time Lag)** بين التعرض للملوثات وظهور الأعراض، وأن التباطؤ في معدلات النمو قد لا يُشير إلى تحسن في الوضع، بل قد يكون نتيجة لأنظمة الرعاية الصحية التي تُحاول التكيف مع حجم المشكلة. يُبرز هذا التحليل ضرورة اتخاذ إجراءات وقائية عاجلة، لأن معالجة النتائج تُعد أكثر تكلفة وعبئًا على المدى الطويل.[١٠]

الخاتمة

يُختتم هذا البحث بتأكيد قاطع على أن نهر الفرات في مدينة الرمادي يعاني من تلوث متفاقم بالعناصر الثقيلة، وهو ما يُمثل تهديدًا بيئيًا وصحيًا حقيقيًا للمنطقة. لقد كشفت الدراسة عن أن الأنشطة البشرية، خاصةً الصناعية منها والزراعية، هي المحرك الرئيسي لهذا التدهور، حيث أظهر التحليل الكمي تزايدًا ملحوظًا في تركيزات الرصاص، والكادميوم، والزنك، والزئبق على مدار السنوات الخمس الماضية. وعلى الرغم من أن معدل نمو التلوث قد شهد تباطؤًا في السنوات الأخيرة، إلا أن المستويات المطلقة لهذه الملوثات لا تزال تتجاوز المعايير الدولية بشكل كبير، مما يُشير إلى وجود **تراكم بيولوجي (Bioaccumulation)** خطير في السلسلة الغذائية المائية، وتداعيات صحية واقتصادية كبيرة على المجتمع المحلي. إن نتائج هذا البحث تُعد بمثابة ناقوس خطر، وتؤكد على ضرورة الانتقال من مرحلة المراقبة إلى مرحلة العمل الجذري، عبر تطبيق استراتيجيات مستدامة لإدارة الموارد المائية، وفرض رقابة صارمة على مصادر التلوث، بهدف حماية هذا المورد الحيوي للأجيال القادمة. فالتصدي لهذه المشكلة لا يقتصر على الحلول التقنية فحسب، بل يتطلب أيضًا تضافر الجهود المجتمعية والحكومية، وزيادة الوعي البيئي، وإعادة النظر في الممارسات الصناعية والزراعية المتبعة. إن مستقبل النهر وجودة الحياة في الرمادي يعتمدان على مدى استجابتنا لهذا التحدي البيئي الهام.

النتائج :

١. سجل متوسط تركيز الرصاص (Pb) في مياه النهر ارتفاعاً من ٤٠.١ µg/L في عام ٢٠٢٠ إلى ٦٨.٧ µg/L في عام ٢٠٢٤ عند نقطة الخروج من المدينة (S٦)، وهو ما يمثل زيادة تراكمية بنسبة ٧١.٣٪ على مدى خمس سنوات.

٢. ارتفع متوسط تركيز الزئبق (Hg) في المحطة الصناعية (S٥) من ٢.١ µg/L في عام ٢٠٢٠ إلى ٣.٩ µg/L في عام ٢٠٢٤، بزيادة بلغت ٨٥.٧٪، مما يؤكد أن المصادر الصناعية هي السبب الرئيسي لهذا التلوث.

٣. أظهرت التحاليل البيولوجية أن تراكم الرصاص في أنسجة الأسماك ارتفع من ٥.٢ mg/kg في عام ٢٠٢٠ إلى ١٢.٨ mg/kg في عام ٢٠٢٤، بزيادة تجاوزت ١٤٦٪، مما يدل على وجود ظاهرة التضخم البيولوجي في السلسلة الغذائية.

٤. ارتفعت نسبة حالات التسمم بالرصاص في المجتمع المحلي من ٥.٢ حالة لكل ١٠٠ ألف نسمة في عام ٢٠٢٠ إلى ١٥.٨ حالة في عام ٢٠٢٤، مما يمثل زيادة حادة بنسبة ٢٠٣.٨٪، وهو ما يرتبط مباشرة بتدهور جودة المياه.

٥. تُعدّ المصادر الصناعية المسؤولة عن ٦٠٪ من إجمالي تلوث الرصاص و ٦٥٪ من تلوث الزئبق، في حين تُشكل الأنشطة الزراعية الملوثة المصدر الرئيسي لتلوث الكادميوم بنسبة ٤٥٪.

المقترحات

١. إنشاء محطات معالجة للنفايات الصناعية على طول مجرى النهر، وفرض غرامات مالية صارمة على المصانع والورش التي لا تلتزم بمعايير الصرف البيئي.

٢. تفعيل برامج الرقابة البيئية المستمرة على المصادر الزراعية في المنطقة، وتقديم الدعم الفني للمزارعين لتقليل استخدام الأسمدة الكيميائية الغنية بالعناصر الثقيلة، واستبدالها ببدائل عضوية.

٣. إطلاق حملة توعية بيئية وصحية شاملة في مدينة الرمادي، تهدف إلى تعريف السكان بمخاطر استخدام المياه الملوثة وكيفية التعامل مع النفايات المنزلية بطريقة صحيحة للحد من تلوث الصرف الصحي.

٤. إطلاق برنامج رصد صحي مجتمعي بالتعاون مع وزارة الصحة، لرصد حالات التسمم بالمعادن الثقيلة وتحديد المناطق الأكثر تضررًا، وتقديم العلاج اللازم للمتضررين مجاناً.

٥. إنشاء هيئة إدارية متخصصة لإدارة موارد المياه في نهر الفرات، وتكون مسؤولة عن التخطيط، والرقابة، وتنسيق الجهود بين القطاعات المختلفة (الصناعة، الزراعة، والصرف الصحي) لضمان حماية الموارد المائية على المدى الطويل.

قائمة المصادر والمراجع

المصادر العربية

١. الدوري، صديق مصطفى جاسم، وقصي حمدان عبد. "معايير استخدامات التوسع المكاني في مدينة الرمادي". مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية ٢٩.١٢، ٣ (٢٠٢٢): ١٧٩-٢١٠.

٢. عبد الجليل، عذراء عدنان. "مراحل النمو العمراني واتجاهاته في مدينة الرمادي". مجلة البحث العلمي في الآداب ١٦.٥ (٢٠١٥): ١-٤٠.

٣. م. د. طه ياسين عبد الله. "مورفوتكتونية منعطفات نهر الفرات بين الرمادي والفلوجة Journal of Education College Wasit University 58.1 (2025): 241-258.".

٤. م. د. عثمان محمد حسين. "هيدروجيومورفولوجية جزيرة البوذياب والبوريشة النهرية واهميتها التنموية." مداد الآداب ١٣.٣١ (٢٠٢٣): ٩٠٥-٩٦٦.

٥. محمد صبيح صبر. "مدينة الرمادي وتطور وظيفتها التجارية ALUSTATH JOURNAL FOR HUMAN AND SOCIAL SCIENCES 62.3 (2023): 202-222.".

بالمصادر باللغة الانكليزية

1. Abdulmajeed, Bashar Amer, and Reidh A. Abdul Jabar. "A study of Physicochemical Parameters, Heavy Metals and in the Euphrates River, Between the cities of Hit and Ramadi in Anbar Governorate." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1371. No. 2. IOP Publishing, 2024.

2. Al-Khuzaie, Marwah M., et al. "Assessment of untreated wastewater pollution and heavy metal contamination in the Euphrates river." Environmental Pollutants and Bioavailability 36.1 (2024): 2292110.

3. ALI, SHAIMAA FATIH, and BASHAR TAREQ AL-SHANDAH. "Estimation of some plant nutrients and heavy metals in Euphrates river at the cities of Ramadi and Khalidiah." Pollution Research 40.1 (2021): 354-361.

4. Hasham, Ghadeer Jamal, and Majeed Mattar Ramal. "Application of QUAL2K for water quality modeling and management for the Euphrates River in Fallujah City as a case study." Planning 17.5 (2022): 1511-1521.

5. Joudah, Sarah Kadhim, and Kamil kadhim Fahad. "Pollution levels of three heavy elements and some environmental factors for mud farm water north of Thi-Qar." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1262. No. 7. IOP Publishing, 2023.

هوامش البحث

1 ".م. د. طه ياسين عبد الله. "مورفوتكتونية منعطفات نهر الفرات بين الرمادي والفلوجة *Journal of Education College Wasit University* 58.1 (2025): 241-258.
2 Abdulmajeed, Bashar Amer, and Reidh A. Abdul Jabar. "A study of Physicochemical Parameters, Heavy Metals and in the Euphrates River, Between the cities of Hit and Ramadi in Anbar Governorate." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1371. No. 2. IOP Publishing, 2024.
3 عبد الجليل, وعذراء عدنان. "مراحل النمو العمراني واتجاهاته في مدينة الرمادي." مجلة البحث العلمي في الآداب ١٦,٥ (٢٠١٥): ١-٤٠.
4 Joudah, Sarah Kadhim, and Kamil kadhim Fahad. "Pollution levels of three heavy elements and some environmental factors for mud farm water north of Thi-Qar." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1262. No. 7. IOP Publishing, 2023.
5. ".م. د. عثمان محمد حسين. "هيدروجيومورفولوجية جزيرة البوذياب والبوريشة النهرية واهميتها التنموية *مداد الآداب* 13.31 (2023): 905-966
6 الدوري، صديق مصطفى جاسم، وقصي حمدان عبد. "معايير استخدامات التوسع المكاني في مدينة الرمادي". مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية ٢٩,١٢، ٣ (٢٠٢٢): ١٧٩-٢١٠.
7 ALUSTATH JOURNAL FOR HUMAN AND "مدينة الرمادي وتطور وظيفتها التجارية."محمد صبيح صبر. SOCIAL SCIENCES 62.3 (2023): 202-222.
8 ALI, SHAIMAA FATIH, and BASHAR TAREQ AL-SHANDAH. "Estimation of some plant nutrients and heavy metals in Euphrates river at the cities of Ramadi and Khalidiah." *Pollution Research* 40.1 (2021): 354-361.
9 Hasham, Ghadeer Jamal, and Majeed Mattar Ramal. "Application of QUAL2K for water quality modeling and management for the Euphrates River in Fallujah City as a case study." *Planning* 17.5 (2022): 1511-1521.
10 Al-Khuzaie, Marwah M., et al. "Assessment of untreated wastewater pollution and heavy metal contamination in the Euphrates river." Environmental Pollutants and Bioavailability 36.1 (2024): 2292110.