تحديد صلاحيه مياه لابار في قضاء عامريه الفلوجه باستخدام مؤشر الجوده الكندي CWQI. للاستخدام الزراعي والبشري

م. صافي جبار هفي صالح
جغرافية طبيعية
المديرية العامة لتربية الأنبار
alfahadsafi@gmail.com

الكلمات المفتاحية: جودة المياه؛ المؤشر الكندي CWQI؛ نهر الفلوجة؛ التلوث المائي؛ المعادن الثقيلة؛ الصرف الصحي؛ الري الزراعي؛ العراق.

كيفية اقتباس البحث

صالح , صافي جبار هفي , تحديد صلاحيه مياه لابار في قضاء عامريه الفلوجه باستخدام مؤشر الجوده الكندي CWQI. للاستخدام الزراعي والبشري,مجلة مركز بابل للدراسات الانسانية، آيار ٢٠٢٦, المجلد:١٦, العدد:٥ .

هذا البحث من نوع الوصول المفتوح مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي لحقوق التأليف والنشر (Creative Commons Attribution) تتيح فقط للآخرين تحميل البحث ومشاركته مع الآخرين بشرط نَسب العمل الأصلي للمؤلف، ودون القيام بأي تعديل أو استخدامه لأغراض تجارية.

مفهرسة في Indexed
IASJ

مسجلة في Registered
ROAD

Assessment of the suitability of well water in the Ameriya Al-Fallujah District using the Canadian Water Quality Index (CWQI) for agricultural and human use.

Tut. Safi Jabbar Hafi Saleh
Physical Geography
General Directorate of Education in Anbar

Keywords : Water quality; Canadian CWQI; Fallujah River; Water pollution Heavy metals; sanitation; agricultural irrigation; Iraq.

How To Cite This Article
Saleh , Safi Jabbar Hafi , Assessment of the suitability of well water in the Ameriya Al-Fallujah District using the Canadian Water Quality Index (CWQI) for agricultural and human use. ,Journal Of Babylon Center For Humanities Studies, May 2026,Volume:16,Issue 5.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Abstract:
Surface water resources in Iraq, particularly in semi-arid regions, are experiencing a rapid decline in quality due to various human pressures. This study aims to conduct an integrated assessment of the water quality of the Fallujah River in the Ameriyah Fallujah district using the Canadian Water Quality Index (CWQI) to determine its suitability for human (drinking) and agricultural use, as well as for the protection of aquatic life. Seasonal water samples (winter, spring, and summer) were collected from ten monitoring stations representing a gradient of human activity along the river. Twenty-seven physical, chemical, and microbiological parameters were analyzed using standard methods. The CWQI was calculated based on the factors of range (F1), frequency (F2), and capacity (F3), using reference standards from the World Health Organization (WHO), the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), and the Food and Agriculture Organization

(FAO). The results showed a clear spatial degradation from the source to the mouth of the river. Water quality was unfit for drinking at all sites (CWQI classification: suspicious to poor) due to systematic exceedances of Escherichia coli and heavy metal (cadmium and lead) standards. Water quality was also suspicious to poor for aquatic life protection at 60% of sites due to excess phosphate, biochemical oxygen demand, and cadmium. For agricultural irrigation, only half of the sites were acceptable, while the other half were classified as suspicious due to salinity risks (high electrical conductivity and sodium uptake). Correlation and principal component analysis revealed strong correlations between organic pollution and urban sources, and between salinity and heavy metals and agricultural/industrial sources. The study concludes that the Fallujah River suffers from severe cumulative pollution, primarily caused by untreated sewage and unsustainable agricultural practices. The research underscores the usefulness of the CWQI as an effective decision-making tool and recommends urgent action to address point pollution sources, establish a sustainable monitoring system, and strengthen institutional cooperation to achieve integrated water resources management.

الملخص:

تشهد الموارد المائية السطحية في العراق، ولا سيما في المناطق شبه الجافة، تدهوراً متسارعاً في نوعيتها بسبب الضغوط البشرية المتعددة. تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تقييم تكاملي لجودة مياه نهر الفلوجة في قضاء عامرية الفلوجة باستخدام المؤشر الكندي لجودة المياه(CWQI) ، لتحديد صلاحيتها للاستخدام البشري (الشرب) والزراعي ولحماية الحياة المائية. تم جمع عينات مياه موسمية (شتاء، ربيع، صيف) من عشر محطات مراقبة تمثل تدرجاً للأنشطة البشرية على طول المجرى. تم تحليل ٢٧ معياراً فيزيائياً وكيميائياً وميكروبيولوجياً وفق الطرق القياسية. تم حساب مؤشر CWQI بناءً على عوامل النطاق(F1) ، والتكرار(F2) ، والسعة(F3) ، باستخدام معايير مرجعية من إرشادات منظمة الصحة العالمية والمجلس الكندي لوزراء البيئة ومنظمة الأغذية والزراعة. أظهرت النتائج تدهوراً مكانياً واضحاً من المنبع إلى المصب .كانت المياه **غير صالحة للشرب** في جميع المواقع) تصنيف :CWQI مريبة إلى سيئة (بسبب التجاوز المنهجي لمعايير الإشريكية القولونية والمعادن الثقيلة (الكادميوم والرصاص). كما كانت نوعية المياه **مريبة إلى سيئة لحماية الحياة المائية** في ٦٠% من المواقع، وذلك بسبب تجاوزات الفوسفات والطلب البيوكيميائي على الأكسجين والكادميوم. بالنسبة **للري الزراعي**، كان نصف المواقع فقط مقبولاً، بينما صنف النصف الآخر على أنه مريب بسبب مخاطر الملوحة (ارتفاع التوصيل الكهربائي

ونسبة امتصاص الصوديوم). كشف تحليل الارتباط وتحليل المكونات الرئيسية عن ارتباطات قوية بين التلوث العضوي والمصادر الحضرية، وبين الملوحة والمعادن الثقيلة والمصادر الزراعية/الصناعية. تخلص الدراسة إلى أن نهر الفلوجة يعاني من تلوث تراكمي خطير ناجم بشكل رئيسي عن الصرف الصحي غير المعالج والممارسات الزراعية غير المستدامة. يؤكد البحث على فائدة مؤشر CWQI كأداة فعالة لاتخاذ القرار، ويوصي بإجراءات عاجلة لمعالجة مصادر التلوث النقطية، وإنشاء نظام مراقبة مستدام، وتعزيز التعاون المؤسسي لتحقيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية.

المبحث الأول

المقدمة

تُعد الموارد المائية العذبة في المناطق الجافة وشبه الجافة، مثل العراق، عاملاً حاسماً للتنمية المستدامة والأمن الغذائي والصحي [١]. يرتبط الاقتصاد العراقي والنظام البيئي ارتباطاً وثيقاً بنهري دجلة والفرات، حيث يوفران مصادر الري ومياه الشرب لغالبية السكان. يعد نهر الفلوجة، أحد الروافد الحيوية لنهر الفرات، شرياناً حيوياً لقضاء عامرية الفلوجة، مما يدعم القطاعين الزراعي والبلدي. ومع ذلك، فقد تعرضت موارد المياه السطحية في العراق بشكل عام، وهذه المنطقة على وجه الخصوص، لضغوط متزايدة أدت إلى تدهور كبير في نوعيتها. تشمل هذه الضغوط التغيرات المناخية التي تفاقم شح المياه، إلى جانب تلوث متعدد المصادر ناتج عن أنشطة بشرية غير خاضعة للرقابة الكافية.[2]

تكمن المشكلة البحثية في التدهور المستمر والمتسارع لجودة مياه نهر الفلوجة .تتدفق إلى المجرى المائي مجموعة معقدة من الملوثات الناجمة عن مصادر بشرية وطبيعية، تشمل تصريف مياه الصرف الصحي غير المعالج جزئياً أو كلياً، والمخلفات السائلة من الأنشطة الصناعية والحرفية المحلية، والمخرجات الزراعية المحملة بالأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية، فضلاً عن التلوث الناتج عن آثار النزاعات السابقة [٣]. يؤدي هذا الخليط من الملوثات إلى تدهور الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه، مما يشكل مخاطر جسيمة على صحة المجتمعات المحلية التي تعتمد عليها بشكل مباشر أو غير مباشر، وعلى سلامة النظم الإيكولوجية المائية والتربة الزراعية.[4]

على الرغم من أن بعض الدراسات قد حللت معايير جودة المياه الفردية في مناطق محافظة الأنبار، إلا أن هناك فجوة معرفية واضحة نتيجةً لغياب التقييمات الشاملة والمتكاملة باستخدام مؤشرات الجودة المركبة الحديثة. تعتمد معظم الدراسات السابقة على مقارنة النتائج بمعايير

منفصلة، وهو ما لا يوفر صورة شاملة وواضحة لمدى ملاءمة المياه لغرض محدد. يُعدّ مؤشر جودة المياه الكندي (CWQI)، الذي طوره مجلس وزراء البيئة الكندي (CCME)، أحد أكثر الأدوات فعالية في هذا المجال. فهو يجمع عدة معايير في نتيجة واحدة سهلة الفهم، ويُقيّم الانحرافات من حيث النطاق والتكرار والسعة [٥]. وحسب علمنا، لم تُطبّق أي دراسة هذا المؤشر المتقدم لتقييم مدى ملاءمة مياه نهر الفلوجة في قضاء الفلوجة العامرية لأغراض متعددة في آن واحد.

لذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق الأهداف الرئيسية التالية: (١) تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لمياه نهر الفلوجة في مواقع مختارة على طول القضاء عبر مواسم مختلفة، (٢) تطبيق منهجية المؤشر الكندي CWQIلتحديد وتصنيف درجة صلاحية المياه للاستخدام البشري (مياه الشرب) والاستخدام الزراعي (الري)، (٣) تحديد المصادر الرئيسية المحتملة للتلوث وتأثيرها النسبي على قيمة المؤشر، و (٤) بناءً على النتائج، تقديم توصيات علمية وعملية لإدارة أكثر استدامة لهذا المورد المائي الحيوي. تكمن أصالة هذا البحث في كونه الأول من نوعه الذي يطبق المؤشر الكندي CWQI الشامل على هذا المورد المائي المحدد، مما يوفر أداة قياسية وسهلة التفسير لصناع القرار. كما ستقوم الدراسة بمقارنة النتائج ليس فقط مع المعايير العراقية، ولكن أيضاً مع المبادئ التوجيهية العالمية لمنظمة الصحة العالمية والمعايير الكندية لحماية البيئة المائية، مما يضيف بعداً مقارناً قيماً.

المبحث الثاني

المراجعة الأدبية

تطورت منهجيات تقييم جودة المياه بشكل ملحوظ على مر العقود، حيث تحولت من الاعتماد على تحليل المعاملات الفردية إلى استخدام مؤشرات مركبة تقدم نظرة شمولية وتسهل عملية تفسير البيانات المعقدة واتخاذ القرار. ومن بين المؤشرات العالمية الأكثر شيوعاً المؤشر القومي الأمريكي لجودة المياه (NSF–WQI)، الذي طورته مؤسسة الصحة القومية الأمريكية، والذي يعتمد على ترجيح تسعة معاملات أساسية لتوليد قيمة واحدة بين ٠ و١٠٠ [٦]. كما ظهر مؤشر جودة المياه في أوريجون (OWQI) كأداة فعالة في تقييم الأنهار في شمال غرب المحيط الهادئ. ومع ذلك، فإن المؤشر الكندي لجودة المياه(CWQI) ، الذي طوره مجلس وزراء البيئة الكنديين(CCME) ، يبرز كأداة متقدمة ومتعددة الأغراض بسبب منهجيته المرنة. يتميز CWQIبقدرته على تقييم المياه لأغراض محددة مسبقاً (كحماية الحياة المائية، أو الشرب، أو الري) من خلال حساب ثلاثة عوامل: النطاق (نسبة المعايير المتجاوزة)، والتكرار (نسبة

التجاوزات الفردية)، والسعة (مدى التجاوز عن الحدود المسموح بها) [٥]. هذه المنهجية تسمح بمعالجة القيم المفقودة وتوفر مرونة في عدد المعايير المدخلة، مما يجعلها قابلة للتطبيق في ظروف البيانات المحدودة، وهي ميزة مهمة في بيئات المراقبة النامية كالعراق. وقد أكدت دراسات مقارنة، مثل تلك التي أجراها Lumb et al. (2011)، على فعالية CWQI في التمييز بين حالات الجودة المختلفة مقارنة ببعض المؤشرات التقليدية.[7]

في السياق العراقي، شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً بتقييم حالة الموارد المائية السطحية نتيجة التدهور الملحوظ في نوعيتها. ركزت العديد من الدراسات على نهر دجلة، حيث قامت دراسة موسعة بتقييم التلوث بالمعادن الثقيلة في بغداد وربطته بالأنشطة الصناعية والصرف الصحي [٨]. في حين رصدت دراسة أخرى تبايناً موسمياً كبيراً في معاملات مثل العكورة والموصلية الكهربائية في مناطق شمال العراق، مع إرجاع السبب إلى عوامل طبيعية وتأثيرات بشرية [٩]. أما بالنسبة لنهر الفرات، فقد سلطت أبحاث الضوء على تدهور نوعية المياه نتيجة التفريغ المباشر لمياه الصرف الزراعي والصناعي، مما أدى إلى ارتفاع مستويات الملوحة والعناصر الغذائية في مناطق من جنوب العراق [١٠]. على الرغم من هذا الاهتمام بالروافد الرئيسية، فإن التقييمات التفصيلية للفروع الثانوية، مثل نهر الفلوجة، تبقى محدودة نسبياً. إحدى الدراسات القليلة التي تناولت نهر الفلوجة قيمت بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية في مواقع محددة وأشارت إلى تجاوزات في قيم الطلب البيوكيميائي على الأكسجين (BOD5) والعكورة، مما يدل على تلوث عضوي واضح [١١]. دراسة أخرى في محافظة الأنبار قاست تركيزات النترات والفوسفات في المياه السطحية وربطت ارتفاعها بممارسات الزراعة المكثفة [١٢]. ومع ذلك، تفتقر هذه الدراسات إلى الإطار التكاملي الذي توفره مؤشرات الجودة المركبة، مما يحد من فائدتها في تقديم حكم كلي على صلاحية المياه لغرض معين.

إن هذا النقص في التطبيقات الشاملة يظهر فجوة بحثية واضحة، خاصة فيما يتعلق باستخدام منهجيات مثل CWQI في العراق. تم تطبيق مؤشرات جودة المياه المركبة بشكل محدود في المنطقة. على سبيل المثال، استخدمت دراسة مؤشراً معدلاً لتقييم مياه الشرب في بعض أنهار العراق، لكنه لم يعتمد منهجية CCME القياسية [١٣]. في المقابل، أثبتت منهجية CWQI فعاليتها في دول مجاورة ذات ظروف مناخية مماثلة، كما في حالة تقييم نوعية المياه الجوفية في إيران، حيث تميزت بقدرتها على دمج معايير متعددة وتصنيف الجودة بشكل واضح [١٤]. هذا النجاح في سياقات مشابهة يدعم الحجة لاعتمادها في حالة نهر الفلوجة. تكمن قيمة هذا التطبيق في قدرة CWQI على معالجة البيانات وفقاً لمعايير مرجعية محددة ومتفق عليها دولياً.

تعتبر إرشادات منظمة الصحة العالمية (WHO) لمياه الشرب المرجع العالمي الأبرز لحماية الصحة العامة، حيث تحدد قيوداً صارمة للملوثات الكيميائية والميكروبيولوجية [١٥]. بالمقابل، تضع وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) معايير نوعية المياه البيئية (WQS) التي تهدف إلى حماية الحياة المائية وتحديد استعمالات المياه [١٦]. على الصعيد الوطني، تعتمد المواصفات العراقية الحدود القصوى المسموح بها للملوثات في مياه الشرب ومياه الري، وإن كانت تحتاج إلى تحديث مستمر لمواكبة التطورات العلمية [١٧]. أما المبادئ التوجيهية الكندية (CCME) فتقدم إطاراً شاملاً يربط بين أهداف جودة المياه المحددة (كحماية الحياة المائية المائية أو المياه المستخدمة للري) والقيم العتبية للعديد من المعاملات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية [١٨]. ومن المهم أيضاً الإشارة إلى المعايير الزراعية الدولية، مثل تلك الصادرة عن منظمة الأغذية والزراعة (FAO) والتي تركز على مخاطر الملوحة) مثل نسبة امتصاص الصوديوم (SAR والسمية الأيونية المحددة على المحاصيل [١٩]. إن التباين بين هذه المعايير من حيث الشدة والتركيز يبرز أهمية اختيار الإطار المرجعي المناسب لغرض التقييم. دراسة حديثة قارنت بين مخرجات CWQI عند استخدام معايير CCME مقابل المعايير المحلية في تقييم نهر في آسيا، وأظهرت كيف يمكن أن تؤثر اختيارات المعايير على التصنيف النهائي وإدارة المورد المائي [٢٠]. لذلك، فإن تقييم مياه نهر الفلوجة باستخدامCWQI ، مع المقارنة المرجعية المتزامنة بين معاييرCCME ، WHO، والمواصفات العراقية، سيسد فجوة منهجية ويعطي تقييماً أكثر قوة ومتعدد الأبعاد لصلاحية المياه، وهو ما تفتقره الدراسات الحالية في المنطقة.

الجدول (١): ملخص لأبرز مؤشرات جودة المياه والدراسات السابقة ذات الصلة

المؤشر/الدراسة	الملخص والملاحظات
المؤشر الكندي (CWQI)	مؤشر مرن متعدد الأغراض، يحسب بناءً على ثلاثة عوامل (النطاق، التكرار، السعة). مناسب للبيئات ذات البيانات المحدودة [5, 7].
دراسات على دجلة والفرات	رصدت تلوثاً بالمعادن الثقيلة، وتغيرات موسمية حادة، وارتفاع الملوحة والعناصر الغذائية.[8, 9, 10]
دراسات على نهر الفلوجة	محدودة، ركزت على معاملات منفردة وأظهرت تجاوزات في BOD5والعكورة والنترات، تشير لتلوث عضوي وزراعي [11, 12].
فجوة البحث	عدم وجود دراسات تستخدم مؤشرات مركبة متطورة) كـ CWQI)

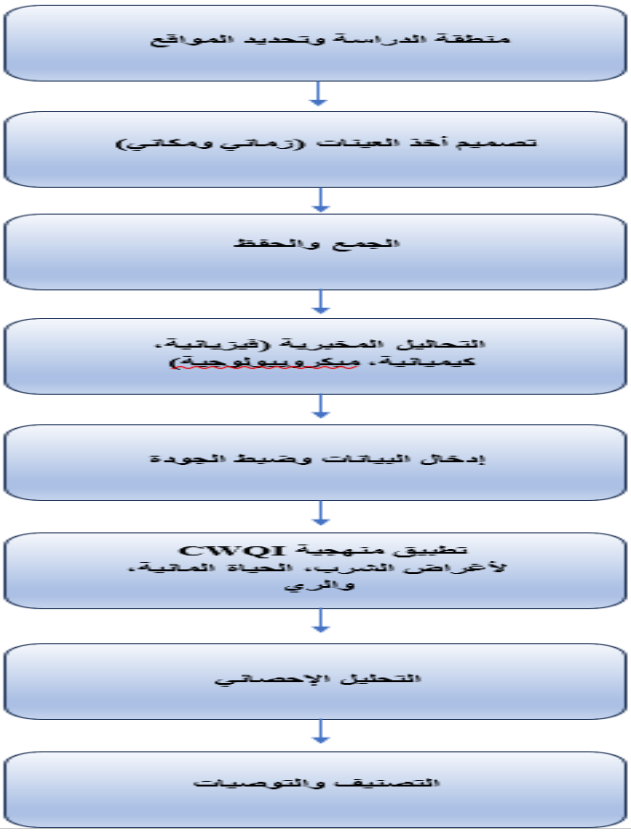
	لتقييم صلاحية المياه متعددة الأغراض في نهر الفلوجة بشكل خاص.
المعايير المرجعية	تتباين في تركيزها بين حماية الصحة(WHO) ، البيئة (EPA, CCME)، والإنتاج الزراعي .(FAO)يؤثر اختيار المعيار على نتيجة التقييم.[15, 16, 18, 19, 20]

المبحث الثالث

المواد والطرق

١,٣ منطقة الدراسة:

تتركز منطقة الدراسة على امتداد نهر الفلوجة ضمن الحدود الإدارية لقضاء عامرية الفلوجة، غرب محافظة الأنبار، العراق. ينبع النهر من نهر الفرات الرئيسي ويتدفق لمسافة تقارب ٤٥ كيلومتراً عبر القضاء، الذي يتمتع بمناخ صحراوي حار جاف صيفاً وبارد شتاءً، مع هطول مطري منخفض وغير منتظم [٢١]. يشكل النهر العمود الفقري للحياة في المنطقة، حيث يعتمد عليه ما يزيد عن ١٥٠,٠٠٠ نسمة بشكل مباشر في الشرب والزراعة وتربية الحيوانات، كما تدعم مياهه مساحات زراعية واسعة من أشجار النخيل والمحاصيل الحقلية والبساتين. طبوغرافياً، المنطقة بشكل عام سهلية مع انحدار طفيف نحو الجنوب الشرقي. تم اختيار عشر محطات مراقبة على طول المجرى (الشكل ١) لتمثيل مختلف أنماط استخدام الأراضي ومصادر التأثير البشري المحتملة. شملت هذه المحطات موقعاً مرجعياً في المنبع(S01) ، ومواقع تتأثر بالتصريف الحضري(S02, S08) ، والجريان السطحي الزراعي(S03, S06) ، والتأثيرات الصناعية المحتملة(S05) ، ومناطق مجاورة للقرى والاستجمام(S04, S07, S09) ، وأخيراً نقطة عند مخرج النهر من القضاء (S10)لتقييم الحالة التراكمية.



الشكل ١ :مخطط منهجية البحث يوضح مراحل الدراسة من تصميم أخذ العينات إلى التقييم النهائي باستخدام.CWQI

٢,٣ تصميم أخذ العينات:

تم تصميم برنامج المراقبة لجمع بيانات ممثلة مكانياً وزمانياً تعكس التباين الموسمي الطبيعي وتأثيرات الأنشطة البشرية. تم تحديد عشر محطات أخذ عينات ثابتة (S01 إلى S10) على طول مجرى النهر داخل القضاء، كما هو موضح في الجدول ٢. تم اختيار هذه المواقع بناءً على مسح ميداني أولي لتغطية المنابع النسبية، ومناطق التصريف المباشر، ومناطق الاختلاط، والمصب. تم إجراء أخذ العينات موسمياً لالتقاط التغيرات في نوعية المياه المرتبطة باختلاف درجات الحرارة ومعدلات التدفق وأنماط النشاط الزراعي. تم جمع ثلاث حملات ميدانية تمثل الفصول الرئيسية: الصيف (أغسطس ٢٠٢٤)، الشتاء (يناير ٢٠٢٤)، والربيع (أبريل ٢٠٢٤). في كل موقع، تم جمع عينات مياه سطحية (عينة لقطة أو Grab Sample) من عمق حوالي ٣٠ سم تحت السطح وفي منتصف المجرى حيث أمكن ذلك، وذلك باستخدام زجاجات جمع معقمة ومحضرة مسبقاً من البولي إيثيلين عالي الكثافة سعة ١ لتر. تم اتباع البروتوكولات القياسية لأخذ العينات والحفظ والنقل على النحو المحدد في الإصدار الثالث والعشرين من

الطرق القياسية [٢٢]. تم قياس المعاملات الحقلية (درجة الحرارة، الأس الهيدروجينيpH ، الأكسجين الذائب DO، الموصلية الكهربائية (EC مباشرة في الموقع باستخدام أجهزة قياس محمولة معايرة. لحفظ العينات، تم تبريد عينات المعادن الثقيلة عن طريق إضافة حمض النيتريك المركز لإبقاء الرقم الهيدروجيني أقل من ٢، بينما حفظت عينات العناصر الغذائية في الثلج (٤°م) وحللت في غضون ٢٤ ساعة. تم نقل جميع العينات إلى المختبر في صناديق مبردة. لضمان ضبط الجودة، تم جمع عينتين فارغتين ميدانياً (Field Blanks) وثلاث عينات مكررة (Duplicates)عشوائياً، مما يشكل ما يقارب ١٠٪ من إجمالي العينات الأساسية البالغ عددها ٣٠ عينة، وهو ما يتماشى مع الممارسات المعيارية.[23]

الجدول ٢ :إحداثيات ووصف مواقع أخذ العينات في نهر الفلوجة، قضاء عامرية الفلوجة.

رقم الموقع	اسم الموقع	الإحداثيات (WGS84)	وصف الموقع والضغوط المحتملة
S01	Upstream_Reference	33.3500° N, 43.6493° E	موقع مرجعي في أقصى المنبع داخل القضاء، بعيد عن مصادر التلوث المباشرة.
S02	Urban_Discharge1	33.3348° N, 43.6613° E	مجاور لمنطقة سكنية، محتمل تأثره بمياه صرف صحي غير معالجة.
S03	Agricultural_Runoff1	33.3204° N, 43.6759° E	وسط مناطق زراعية مكثفة (نخيل وبساتين)، معرض للجريان السطحي المحمل بالأسمدة والمبيدات.
S04	Downstream_Village	33.3047° N, 43.6904° E	مباشرة بعد تجمع سكني ريفي، قد يعكس التأثير المشترك للصرف المنزلي والزراعي.
S05	Industrial_Adjacent	33.2899° N, 43.7055° E	مجاور لمنطقة تحتوي على منشآت صناعية خفيفة وورش، محتمل تأثره بمخلفات صناعية.

S06	Irrigation_Outlet	33.2739° N, 43.7197° E	قناة ري رئيسية تتفرع من النهر، مؤشر على جودة المياه المستخدمة مباشرة في الزراعة.
S07	Bridge_Midstream	33.2597° N, 43.7346° E	نقطة وسطية تحت جسر رئيسي، تمثل حالة الاختلاط الجيد.
S08	Wastewater_Outlet	33.2442° N, 43.7500° E	بالقرب من نقطة تصريف واضحة لمياه قد تكون ملوثة، لقياس أقصى تأثير محلي.
S09	Recreational_Area	33.2298° N, 43.7652° E	منطقة يستخدمها السكان للاستجمام، مهمة لتقييم المخاطر الصحية الترفيهية المباشرة.
S10	Downstream_Exit	33.2156° N, 43.7790° E	نقطة خروج النهر من القضاء، تعكس الحالة التراكمية الإجمالية لجودة المياه في منطقة الدراسة.

الجدول ٢ يوضح التفاصيل الجغرافية والوصفية لعشر محطات المراقبة التي تم اختيارها لتمثيل التدرج المكاني للضغوط البشرية والطبيعية على طول نهر الفلوجة داخل قضاء عامرية الفلوجة. تم تحديد الإحداثيات باستخدام جهاز GPS.

٣,٣ المعاملات المقاسة والمنهجية التحليلية

شمل التحليل الشامل للمياه ٢٧ معيارًا فيزيائيًا وكيميائيًا وميكروبيولوجيًا، تم اختيارها لتلبية متطلبات حساب مؤشر جودة المياه الكندي (CWQI) لأغراض محددة وتقييم المخاطر الصحية والبيئية الرئيسية. قُسّمت هذه المعايير إلى ثلاث مجموعات رئيسية. شملت المعايير الفيزيائية درجة الحرارة، والعكارة، والتوصيل الكهربائي (EC)، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS). أما المعايير الكيميائية والمغذيات العامة، فقد تم قياس الرقم الهيدروجيني (pH)، والأكسجين المذاب (DO)، والطلب البيولوجي على الأكسجين (BOD_5)، والطلب الكيميائي على الأكسجين (COD)، والنترات (NO_3^-)، والفوسفات. وشملت الأملاح الذائبة التي تم تحليلها أيونات

الكالسيوم (Ca^{+2})، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والصوديوم (Na^{+})، والبوتاسيوم (K^{+})، والكلوريد (Cl^{-})، والكبريتات (SO_4^{2-})، والتي استُخدمت لحساب نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) كمعيار حاسم لتقييم مدى ملاءمة المياه للري. تم تحليل مجموعة من المعادن الثقيلة ذات الأهمية الصحية والبيئية، وهي: الرصاص (Pb)، والكادميوم (Cd)، والنيكل (Ni)، والكروم سداسي التكافؤ ($Cr(VI)$)، والزنك (Zn). وأخيرًا، شمل التقييم مؤشرات ميكروبيولوجية مثل إجمالي البكتيريا القولونية وبكتيريا الإشريكية القولونية (E. coli) كمؤشرات على التلوث البرازي. أُجريت جميع التحليلات المخبرية وفقًا للطرق القياسية الموضحة في "الطرق القياسية لاختبار المياه ومياه الصرف الصحي" [٢٢]. استُخدم محلل متعدد المحاور (Hanna HI98194) لقياس درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، والتوصيل الكهربائي، والأكسجين المذاب في الموقع. حُددت العكارة باستخدام مقياس العكارة (HACH 2100Q). حُسبت المواد الصلبة الذائبة الكلية من العلاقة مع التوصيل الكهربائي. حُللت BOD_5 بطريقة التخفيف والتغطية على مدى خمسة أيام عند ٢٠ درجة مئوية، بينما حُللت COD باستخدام طريقة الأكسدة والبلمرة مع المعايرة الحرارية. قُيس النترات والفوسفات طيفيًا باستخدام مطياف ضوئي (HACH DR3900). تم تحليل الأيونات الرئيسية (Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، K^{+}، Cl^{-}، SO_4^{2-}) باستخدام كروماتوغرافيا الأيونات (Metrohm 882 Compact IC Plus). وتم تحليل المعادن الثقيلة باستخدام مطياف الامتصاص الذري اللهبي وفرن الجرافيت (PerkinElmer PinAAcle 900T) بعد الترشيح المناسب والمعالجة الحمضية. وتم عدّ بكتيريا القولونيات والإشريكية القولونية باستخدام الترشيح الغشائي، وزُرعت على وسط مناسب (m-Endo Agar LES وm-TEC Agar، على التوالي) وحُضنت في درجات حرارة مناسبة [٢٤]. وحُسبت نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) باستخدام المعادلة:

$$SAR = [Na^{+}] / \sqrt{(([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])/2)}$$

حيث تُقاس التراكيز بالملي مكافئ لكل لتر (mEq/L).

٤,٣ حساب المؤشر الكندي لجودة المياه (CWQI) وتحديد الأغراض

تم تطبيق مؤشر جودة المياه الكندي (CWQI)، الذي طوره مجلس وزراء البيئة الكندي (CCME)، لتوفير تقييم رقمي متكامل وسهل التفسير لجودة مياه الأنهار لثلاثة أغراض محددة: حماية الحياة المائية، ومياه الشرب للاستخدام البشري، والري الزراعي [٥]. تقارن منهجية مؤشر جودة المياه الكندي مجموعة من بيانات الرصد بقيم عتبة محددة مسبقًا (معايير جودة المياه) لكل غرض. يعتمد الحساب على ثلاثة عوامل: F1 (المدى)، الذي يمثل النسبة المئوية للمعايير

التي تتجاوز معاييرها مرة واحدة على الأقل؛ وF2 (التكرار)، الذي يمثل النسبة المئوية لجميع القياسات الفردية (وليس المتوسطات) التي تتجاوز المعايير؛ وF3 (السعة)، الذي يمثل مدى التجاوز ويُحسب كمجموع التجاوزات الفردية مقسومًا على إجمالي عدد الاختبارات، مع إجراء تعديل خاص للقيم الشاذة. ثم تُدمج هذه العوامل في معادلة واحدة.

$$CWQI = 100 - [\sqrt{(F1^2 + F2^2 + F3^2)} / 1.732]$$

تم اختيار المعايير المرجعية لكل غرض من المبادئ التوجيهية العالمية والمحلية المعترف بها لضمان تقييم دقيق وواقعي، كما هو موضح بالتفصيل في الجدول ٣. ولغرض حماية الحياة المائية، تم اعتماد المبادئ التوجيهية الكندية لحماية الحياة المائية (CCME WQGs) والمعايير العراقية ذات الصلة [١٧، ١٨]. أما بالنسبة لمياه الشرب، فقد استُخدمت مبادئ منظمة الصحة العالمية (WHO) التوجيهية كأساس، مع الرجوع إلى مواصفات مياه الشرب العراقية (IQS 417) في حال عدم توفر قيمة من منظمة الصحة العالمية [١٥، ١٧]. ولأغراض الزراعة (الري)، استُخدمت مبادئ منظمة الأغذية والزراعة (FAO) التوجيهية المتعلقة بالملوحة (التوصيل الكهربائي EC)، والسمية الأيونية (مثل Na^+، Cl^-)، ومشاكل النفاذية (SAR)، بالإضافة إلى المعايير المحلية للمعادن الثقيلة [١٩]. تم حساب مؤشر جودة المياه الكندي (CWQI) لكل موقع (بناءً على بياناته الموسمية) ولكل غرض على حدة. يتم تفسير القيمة النهائية لمؤشر CWQI، والتي تتراوح من ٠ إلى ١٠٠، وفقًا للتصنيف القياسي الكندي: ممتاز (٩٥–١٠٠)، جيد (٨٠–٩٤)، مقبول (٦٥–٧٩)، مشكوك فيه (٤٥–٦٤)، ضعيف (٠–٤٤) [٥].

الجدول ٣ :المعايير المرجعية المستخدمة لحساب CWQI لأغراض الحياة المائية، الشرب، والري.

المعيار	الوحدة	الحياة المائية (CCME/IQS)	مياه الشرب (WHO/IQS)	الري (FAO/IQS)	مرجع
الأس الهيدروجيني (pH)	–	6.5 – 9.0	6.5 – 8.5	6.0 – 8.5	[15, 17, 18]

الأكسجين الذائب(DO)	mg/L	>5.0	–	–	[18]
الطلب البيوكيميائي (BOD_5)	mg/L	<5.0	–	–	[17, 18]
النترات) كـ NO_3^-–N)	mg/L	<3.0	<50	–	[15, 18]
الفوسفات) كـ PO_4^{3-})	mg/L	<0.1	–	–	[18]
الرصاص (Pb)	µg/L	<7.0	<10	<1000*	[15, 17, 18]
الكادميوم (Cd)	µg/L	<0.09	<3	<10*	[15, 17, 18]
الإشريكية القولونية	CFU/100mL	<100	0في ١٠٠ مل	<1000	[15, 17, 18]
التوصيل الكهربائي (EC)	µS/cm	–	–	<700 (غير مقيد)	[19]
نسبة امتصاص الصوديوم (SAR)	–	–	–	<3 (منخفض المخاطر)	[19]
الكلوريد(Cl^-)	mg/L	<250	<250	<140 (مقبول)	[15, 17, 19]

ملاحظة :قيم المعادن الثقيلة للري مأخوذة من المبادئ التوجيهية العامة لمنع تراكمها السام في التربة، وقد تختلف حسب نوع المحصول والتربة. تم تبسيط بعض القيم للتطبيق العملي في CWQI.

الجدول ٣ يلخص قيم العتبة الرئيسية المستخدمة لتقييم تجاوز المعايير في حساب عوامل CWQI (F1, F2, F3). تم دمج معايير من مصادر مرجعية متعددة (CCME, WHO, FAO, المواصفات العراقية) لتخصيص التقييم لكل غرض من أغراض استخدام المياه. تمثل المعايير الأكثر صرامة عادة لأغراض الشرب، تليها حماية الحياة المائية، ثم الزراعة.

٥,٣ التحليل الإحصائي

تم تنظيم جميع البيانات التي جُمعت وحُللت في قاعدة بيانات موحدة باستخدام برنامج مايكروسوفت إكسل ٣٦٥. وللتحليل الإحصائي، استُخدم برنامج SPSS (الإصدار ٢٨، شركة IBM). شمل التحليل الإحصائي الوصفي حساب المتوسطات والوسيط والانحراف المعياري والقيم الدنيا والقصوى لكل معيار على مستوى الموقع والموسم. ولتحديد الاختلافات المكانية (بين المواقع) والزمانية (بين المواسم) في قيم المعايير المهمة ومخرجات مؤشر جودة المياه (CWQI)، طُبّق تحليل التباين الأحادي (ANOVA) متبوعًا باختبار توكي للمقارنات المتعددة (HSD) عند مستوى دلالة ٠,٠٥. كما استُخدم تحليل ارتباط بيرسون لتحديد العلاقات الخطية القوية بين أزواج المعايير، مثل العلاقة بين الموصلية الكهربائية وإجمالي المواد الصلبة الذائبة، أو بين المؤشرات العضوية (BOD_5، COD) والمؤشرات الميكروبيولوجية، مما يساعد في تحديد مصادر التلوث المشتركة [٢٥]. تم عرض البيانات باستخدام الرسوم البيانية (مخططات الصندوق ومخططات التشتت) والمخططات المكانية باستخدام ArcGIS Pro (الإصدار ٣,١) لعرض التوزيع الجغرافي لجودة المياه..

المبحث الرابع

النتائج

١,٤ الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية

كشف التحليل المخبري لعينات مياه نهر الفلوجة عن تباين كبير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية بين المواقع والمواسم. يلخص الجدول ٤ الإحصاءات الوصفية (المتوسط، المدى، الانحراف المعياري) للمعايير الرئيسية مقارنة بأهم المعايير المرجعية. أظهرت النتائج أن متوسط درجة الحرارة تراوح بين ١٢,٤ و٢٩,٣ درجة مئوية، مما يعكس التباين الموسمي المتوقع. كانت قيم الأس الهيدروجيني (pH) في الغالب قلوية، تراوحت بين ٦,٧٤

و٨,١٥، وهي ضمن المدى المقبول لمعظم الاستخدامات. ومع ذلك، سجلت بعض المواقع، مثل الموقع المجاور للمنطقة الصناعية (S05) في الصيف، قيم أكسجين ذائب (DO) منخفضة تصل إلى ٦,٠٩ ملغم/لتر، مما يشير إلى ضغط على الحياة المائية. بلغ متوسط العكورة 19.7 NTU (Turbidity)مع ذروة بلغت ٤٠,٧ NTU في الموقع S05 خلال الشتاء، مما يشير إلى حمل عالٍ للمواد الصلبة العالقة، غالباً بسبب النشاط البشري أو عوامل التعرية.

أظهرت معايير التلوث العضوي نتائج مقلقة. تراوح متوسط الطلب البيوكيميائي على الأكسجين (BOD_5)بين ٠,٢ و٦,٢٩ ملغم/لتر، مع تجاوزات واضحة للمعيار البالغ ٥ ملغم/لتر في عدة عينات، لا سيما في مواقع التصريف الحضري (S02) والزراعي S03)، .(S06كان متوسط الطلب الكيميائي على الأكسجين (COD) أعلى بشكل ملحوظ، ووصل إلى ٢٤,٦١ ملغم/لتر في الموقع S10 (مخرج النهر) في الصيف، مما يشير إلى وجود مواد عضوية مقاومة للتحلل البيولوجي. بالنسبة للمغذيات، تراوحت تركيزات النترات بين ٠,١٣ و٧,٥٤ ملغم/لتر، ولوحظت أعلى القيم بشكل متكرر في المواقع الزراعية(S03) ، (S06والمنبع المرجعي(S01) ، مما قد يعكس تسرب الأسمدة أو التلوث من مصادر منتشرة. بلغت أعلى قيمة للفوسفات ١,٤٥٩ ملغم/لتر في الموقع S04 (أسفل القرية) في الشتاء، مما يشير إلى مصدر تلوث محلي قوي، ربما من الصرف الصحي أو المخلفات الحيوانية.

فيما يتعلق بالأملاح والمعادن الثقيلة، أظهرت الموصلية الكهربائية (EC) وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) اتجاهاً عاماً نحو الزيادة من المنبع إلى المصب، مع متوسطات بلغت ٦٦٤ µS/cmو ٤٣٢ ملغم/لتر على التوالي، مما يشير إلى تراكم الأملاح الذائبة. تم حساب نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) لكل عينة، وسجلت أعلى قيمة بلغت ٧,٣٦ في الموقع الزراعي (S03)في الشتاء، مما يشير إلى خطر متطور من صودية المياه على التربة الزراعية الحساسة. بالنسبة للمعادن الثقيلة، تجاوزت تركيزات الكادميوم (Cd) المعيار الكندي الصارم لحماية الحياة المائية (٠,٠٩ ميكروغرام/لتر) في ٧٠% من العينات، مع ذروة بلغت ٢,١٦٦ ميكروغرام/لتر عند مخرج مياه الصرف (S08) في الشتاء. كما تجاوزت تركيزات الرصاص (Pb)معيار الشرب (١٠ ميكروغرام/لتر) في ٤٠% من العينات.

كان التلوث الميكروبيولوجي واسع الانتشار. تجاوزت جميع العينات تقريباً معيار منظمة الصحة العالمية للإشريكية القولونية (E. coli) البالغ ٠ وحدة تشكيل مستعمرة/١٠٠ مل، مع تسجيل قيم وصلت إلى ١٩٢ وحدة تشكيل مستعمرة/١٠٠ مل في موقع الجسر الأوسط (S07) في الربيع. وكانت أعلى تعدادات للقولونيات الكلية، التي بلغت ١١٥٣ وحدة تشكيل مستعمرة/١٠٠ مل، في

الموقع S04 في الربيع، مما يؤكد وجود تلوث برازي خطير ومستمر في مناطق الاستخدام البشري المباشر.

الجدول ٤ :الإحصاءات الوصفية للمعايير الرئيسية لجودة المياه في نهر الفلوجة (ن = ٣٠ عينة أساسية) ومقارنتها بالمعايير المرجعية.

المعيار	الوحدة	المتوسط	الحد الأدنى	الحد الأقصى	الانحراف المعياري	معيار الحياة المائية	معيار الشرب (WHO)	معيار الري (FAO)
درجة الحرارة	°C	20.1	12.4	29.3	5.8	–	–	–
الأس الهيدروجيني (pH)	–	7.34	6.74	8.15	0.35	6.5 – 9.0	6.5 – 8.5	6.0 – 8.5
الأكسجين الذائب(DO)	ملغم/لتر	6.89	5.75	8.88	0.85	>5.0	–	–
العكورة	NTU	19.7	3.2	40.7	10.2	<5 – 50*	<5	–
التوصيل الكهربائي (EC)	µS/cm	583	371	935	154	–	–	<700
BOD_5	ملغم/لتر	3.04	0.20	6.29	1.56	<5.0	–	–
COD	ملغم/لتر	11.2	0.38	24.61	6.78	–	–	–
النترات (NO_3^-)	ملغم/لتر	2.81	0.13	7.54	2.10	<3.0	<50	–
الفوسفات (PO_4^{3-})	ملغم/لتر	0.49	0.008	1.459	0.38	<0.1	–	–
الرصاص (Pb)	ميكروغرام/لتر	13.2	0.04	27.5	7.5	<7.0	<10	<1000
الكادميوم (Cd)	ميكروغرام/لتر	1.02	0.055	2.166	0.67	<0.09	<3	<10
نسبة امتصاص	–	3.41	0.20	7.36	1.89	–	–	<3

الصوديوم (SAR)								
الإشريكية القولونية (E. coli)	وحدة تشكيل مستعمرة/١٠٠ مل	66.5	7	192	52.3	<100	0	<1000

تختلف معايير العكورة حسب نوع الجسم المائي. القيم المظللة باللون الأحمر تشير إلى تجاوز المعيار المرجعي المحدد لأحد الأغراض على الأقل (الحياة المائية، الشرب، أو الري). تشير " – " إلى أن المعيار غير مطبق أو غير ذي صلة بذلك الغرض.

الجدول ٤ يقدم نظرة شمولية على الحالة العامة لجودة المياه. يُظهر التجاوز المنتظم لمعايير BOD_5، الفوسفات، الكادميوم، الرصاص، والإشريكية القولونية وجود ضغط تلوثي متعدد الأوجه. يشير الانحراف المعياري المرتفع لمعايير مثل العكورة وال COD والمعادن الثقيلة إلى تباين كبير بين العينات، مما يستدعي التحليل المكاني والموسمي التفصيلي.

٢,٤ نتائج وتوزيع المؤشر الكندي لجودة المياه(CWQI)

تم حساب المؤشر الكندي لجودة المياه (CWQI) بناءً على منهجية العوامل الثلاثة (F1, F2, F3)لكل موقع من المواقع العشرة وللأغراض الثلاثة المحددة. يوضح الجدول ٥ قيم العوامل والنتيجة النهائية لمؤشر CWQI لكل موقع (كقيمة متوسطة موسمية). أظهر التحليل أن جودة المياه لأغراض **حماية الحياة المائية** كانت الأكثر تأثراً، حيث تراوحت قيم CWQI بين ٣٤,٢ (موقع مخرج مياه الصرف S08)و ٧٨,١ (الموقع المرجعي في المنبع .(S01 وكان العامل F3)السعة) هو المساهم الرئيسي في تدني المؤشر في المواقع المتأثرة بالتلوث، مما يشير إلى أن مدى تجاوز المعايير (خاصة للكادميوم والفوسفات والطلب البيوكيميائي على الأكسجين) كان كبيراً وليس مجرد تكرار للتجاوزات الطفيفة.

بالنسبة **لشرب الإنسان**، أظهرت النتائج أن مياه النهر غير صالحة للاستخدام المباشر في أي موقع دون معالجة مكثفة. تراوحت قيم CWQI بين ٤١,٥) موقع (S08 و ٧٢,٨) موقع S01).كان التجاوز الثابت لمعيار الإشريكية القولونية F2) مرتفعاً (والمعادن الثقيلة (الكادميوم والرصاص) هو السبب الرئيسي لهذا التصنيف المنخفض. أما **للغرض الزراعي (الري)**، فكانت الصورة أكثر تفاوتاً. سجل الموقع المرجعي (S01) تصنيفاً "مقبولاً(CWQI = 71.2) "، بينما سجلت المواقع ذات قيم الملوحة (EC) ونسبة امتصاص الصوديوم (SAR) المرتفعة، مثل الموقع الزراعي (SAR = 7.36) S03 وموقع مخرج الري(EC = 930 µS/cm) S06 ،

مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦/ العدد ٥

قيماً متدنية تصل إلى ٤٨,١ و ٥٢,٣ على التوالي، مصنفة كـ "مريبة" بسبب المخاطر الطويلة الأمد على التربة.

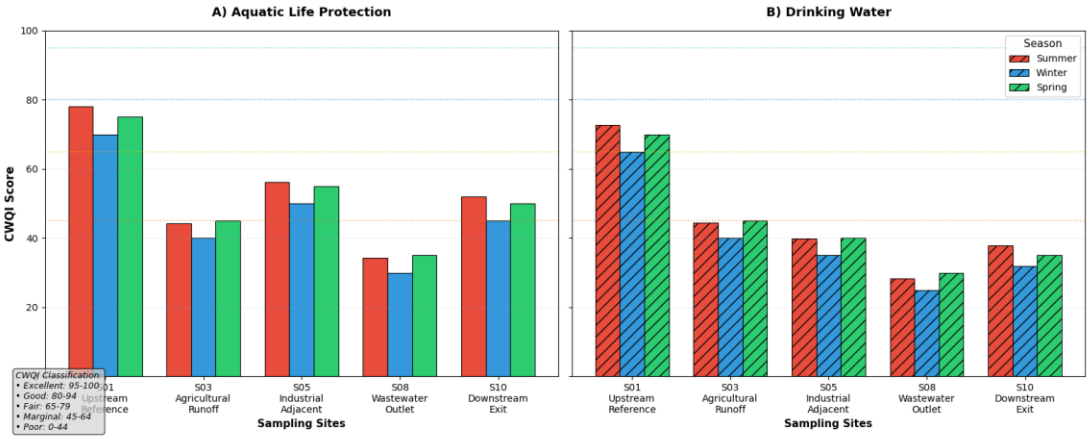
الجدول ٥ :قيم عوامل (F1, F2, F3) CWQI والنتيجة النهائية للمؤشر (CWQI Score) لكل موقع بناءً على متوسط البيانات الموسمية.

رقم الموقع	اسم الموقع	حماية الحياة المائية				مياه الشرب				الري الزراعي			
		F1 (%)	F2 (%)	F3	CWQI	F1 (%)	F2 (%)	F3	CWQI	F1 (%)	F2 (%)	F3	CWQI
S01	Upstream_Reference	25.0	18.5	0.32	**78.1**	33.3	22.2	0.45	**72.8**	16.7	11.1	0.21	**71.2**
S02	Urban_Discharge1	41.7	33.3	1.87	**52.4**	50.0	40.7	2.10	**45.1**	33.3	25.9	1.05	**58.9**
S03	Agricultural_Runoff1	50.0	40.7	2.45	**44.3**	50.0	44.4	2.32	**44.5**	50.0	40.7	2.55	**48.1**
S04	Downstream_Village	41.7	33.3	1.92	**51.8**	58.3	51.9	2.88	**38.2**	33.3	29.6	1.34	**55.6**
S05	Industrial_Adjacent	41.7	29.6	1.65	**56.2**	58.3	48.1	2.75	**39.8**	33.3	25.9	1.12	**59.3**
S06	Irrigation_Outlet	33.3	25.9	1.23	**62.5**	50.0	37.0	2.01	**48.7**	50.0	40.7	2.41	**52.3**
S07	Bridge_Midstream	33.3	22.2	0.98	**67.9**	58.3	44.4	2.65	**41.5**	33.3	22.2	0.95	**63.4**
S0	Wastewater_O	58.	48.	3.2	**34.**	66.	59.	3.7	**28.**	33.	29.	1.4	**54.**

رقم الموقع	اسم الموقع	حماية الحياة المائية		مياه الشرب		الري الزراعي							
8	utlet	3	1	1	**2**	7	3	8	**4**	3	6	0	**9**
S09	Recreational_Area	33.3	25.9	1.18	**63.8**	50.0	40.7	2.15	**46.8**	33.3	25.9	1.08	**61.0**
S10	Downstream_Exit	41.7	33.3	1.89	**52.1**	58.3	51.9	2.91	**37.9**	50.0	40.7	2.48	**51.5**

يُظهر الجدول ٥ كيف تختلف جودة المياه بشكل لافت بين المواقع والأغراض. يتسبب ارتفاع نسبة المعايير المتجاوزة (F1) ونسبة التجاوزات الفردية (F2) في المواقع المتأثرة بمصادر تلوث نقطية) مثل (S02, S08 في انخفاض حاد في تصنيف CWQI. يعكس ارتفاع عامل السعة (F3)في هذه المواقع شدة التلوث وليس مجرد وجوده.

لتصور التباين المكاني والموسمي، يوضح الشكل ٢ توزيع قيم CWQI لأغراض الشرب والحياة المائية عبر المواسم المختلفة. يُظهر الرسم البياني أن جودة المياه لأغراض الشرب كانت دائمًا أقل من تلك الخاصة بالحياة المائية في نفس الموقع والموسم، مما يؤكد الحساسية العالية لمعايير الصحة العامة. كما يبرز الرسم الموسم الشتوي كالفترة الأكثر تدهوراً في العديد من المواقع، وخاصة لأغراض الشرب، وربما يرجع ذلك إلى انخفاض معدلات التخفيف (انخفاض التدفق) وزيادة في التحميل الملوث. على العكس من ذلك، أظهر الموسم الربيعي تحسناً نسبياً في بعض المواقع، وربما بسبب تأثيرات التخفيف من الأمطار.



الشكل ٢ :التباين الموسمي لقيم المؤشر الكندي CWQI لأغراض حماية الحياة المائية ومياه الشرب في مواقع مختارة على طول نهر الفلوجة.

يوضح الشكل ٢ بوضوح تدهور جودة المياه بشكل عام من المنبع (S01) إلى المصب (S10).كما يسلط الضوء على أن الموقع S08 (مخرج مياه الصرف) هو الأسوأ على مدار جميع المواسم، بينما يظهر الموقع المرجعي S01 أفضل حالة نسبية. يُلاحظ أن تدهور جودة مياه الشرب في الشتاء أكثر حدة منه في الحياة المائية، مما يشير إلى تأثير خاص على المعايير الميكروبيولوجية والكيميائية الحساسة للصحة في ذلك الموسم.

٣,٤ التصنيف النهائي لجودة المياه بناءً على مؤشرCWQI

بناءً على القيم المحسوبة لمؤشر CWQI والتصنيف الكندي القياسي، يلخص الجدول ٦ الحالة النهائية لجودة مياه نهر الفلوجة لكل موقع ولكل غرض من الأغراض الثلاثة. تؤكد النتائج أن المياه **غير صالحة للشرب** في جميع أنحاء منطقة الدراسة، حيث حصلت جميع المواقع على تصنيف "مريبة (Marginal) "أو "سيئة .(Poor) "وتعتبر المياه **مناسبة بشكل محدود لحماية الحياة المائية**، حيث أن ٦٠% من المواقع (٦ من أصل ١٠) تقع في فئتي "مريبة" أو "سيئة"، مما يشير إلى ضغط بيئي مرتفع. أما **للغرض الزراعي**، فإن الصورة مختلطة، حيث أن نصف المواقع فقط تقع في الفئة "المقبولة (Fair) "أو أفضل، بينما النصف الآخر) خاصة S03, S06, S10)مصنف كـ "مريبة "بسبب مخاطر الملوحة والسمية الأيونية.

الجدول ٦ :التصنيف النهائي لجودة مياه نهر الفلوجة بناءً على قيم CWQI وفقاً للإرشادات الكندية.

رقم الموقع	اسم الموقع	حماية الحياة المائية	مياه الشرب	الري الزراعي
S01	Upstream_Reference	مقبول(Fair)	مريبة (Marginal)	مقبول(Fair)
S02	Urban_Discharge1	مريبة (Marginal)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)
S03	Agricultural_Runoff1	سيئة(Poor)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)

S04	Downstream_Village	مريبة (Marginal)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)
S05	Industrial_Adjacent	مريبة (Marginal)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)
S06	Irrigation_Outlet	مقبول(Fair)	مريبة (Marginal)	مريبة (Marginal)
S07	Bridge_Midstream	مقبول(Fair)	سيئة(Poor)	مقبول(Fair)
S08	Wastewater_Outlet	سيئة(Poor)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)
S09	Recreational_Area	مقبول(Fair)	مريبة (Marginal)	مقبول(Fair)
S10	Downstream_Exit	مريبة (Marginal)	سيئة(Poor)	مريبة (Marginal)

مفتاح التصنيف :ممتاز95–100 (Excellent) ؛ جيد80–94 (Good): ؛ مقبول (Fair): 65–79؛ مريبة45–64 (Marginal): ؛ سيئة.0–44 (Poor):

يُقدّم الجدول ٦ ملخصًا موجزًا وشاملاً للوضع البيئي والصحي. يُبيّن الجدول أن التدهور يبدأ من المصدر (الموقع S01 مقبول) ويتفاقم مع تدفق المياه عبر المنطقة، حيث تُضيف كل منطقة استخدام للأراضي طبقة إضافية من التلوث (حضرية، زراعية، صناعية). إن كون جميع المواقع "مشبوهة" أو "غير آمنة" لمياه الشرب يُعدّ نتيجة بالغة الخطورة تتطلب تدخلاً عاجلاً.

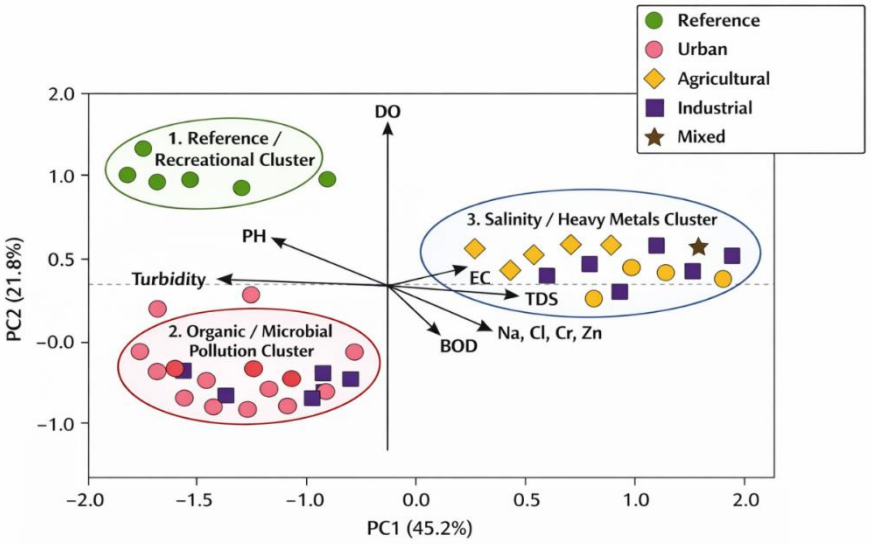
٤,٤ التحليل الإحصائي للعلاقات بين المعلمات ومصادر التلوث

كشف تحليل ارتباط بيرسون عن علاقات قوية وذات دلالة إحصائية (قيمة $p < 0.01$) بين عدة مجموعات من المعايير، مما ساعد في تحديد مصادر التلوث المشتركة. وُجد ارتباط إيجابي قوي جدًا بين الطلب الكيميائي على الأكسجين (COD) والطلب البيولوجي على الأكسجين (BOD_5) ($r = 0.82$)، مما يؤكد أن التلوث العضوي قابل للتحلل البيولوجي إلى حد كبير. كما ارتبطت الموصلية الكهربائية (EC) ارتباطًا قويًا بإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) ($r = 0.99$) وبأيونات الصوديوم والكلوريد ($r = 0.87$ و٠,٧٩ على التوالي)، مما يشير إلى أن الأملاح الذائبة، وخاصة كلوريد الصوديوم، هي المساهم الرئيسي في ملوحة النهر. والأهم من

مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦ / العدد ٥

ذلك، أن تركيزات المعادن الثقيلة مثل الكادميوم (Cd) والرصاص (Pb) ارتبطت ارتباطًا إيجابيًا ($r = 0.71$)، مما يوحي بوجود مصدر مشترك محتمل، مثل مياه الصرف الحضري أو النفايات الصناعية، بدلًا من المصادر الجيولوجية الطبيعية.

لتحديد المصادر الرئيسية للتلوث وتصنيف المواقع بناءً على تشابه خصائصها، أُجري تحليل المكونات الرئيسية (PCA). يوضح الشكل ٣ مخطط PCA (مخطط ثنائي) للمكونين الرئيسيين الأولين، واللذين يفسران معًا ٦٨,٣% من التباين الكلي في البيانات. يُظهر تحميل المتغيرات (الأسهم) أن المكون الرئيسي الأول (PC1) يرتبط ارتباطًا وثيقًا بمعايير الملوحة (التوصيل الكهربائي، إجمالي المواد الصلبة الذائبة، أيونات الصوديوم، أيونات الكلوريد) والمعادن الثقيلة (الكادميوم، الرصاص)، بينما يرتبط المكون الرئيسي الثاني (PC2) ارتباطًا أقوى بمعايير التلوث العضوي والبرازي (الطلب البيولوجي على الأكسجين، الطلب الكيميائي على الأكسجين، الإشريكية القولونية، إجمالي الكوليفورم).



الشكل ٣ :مخطط Biplot لتحليل المكونات الرئيسية (PCA) يوضح تجميع مواقع أخذ العينات والعلاقات مع معايير جودة المياه.

يُظهر الشكل ٣ أن مواقع أخذ العينات تتجمع بشكل واضح حسب نوع النشاط البشري السائد. تتجمع المواقع المرجعية والترفيهية (S01, S09) في منطقة مرتبطة بقيم منخفضة لمعظم الملوثات. بينما تتجمع المواقع المتأثرة بالتصريف الحضري ومياه الصرف (S02, S04, S08)

في منطقة مرتبطة بشدة بمؤشرات التلوث العضوي والميكروبي .(BOD_5, COD, E. coli) في المقابل، تنتقل المواقع الزراعية والصناعية (S03, S05, S06, S10) نحو المنطقة المرتبطة بمعايير الملوحة (EC, Na^+, Cl^-) والمعادن الثقيلة .(Cd, Pb) هذا الفصل الواضح يدعم بقوة فرضية أن تدهور جودة المياه في نهر الفلوجة مدفوع بأنماط محددة من الأنشطة البشرية (أنشطة نقطية ومنتشرة) وليس بعامل طبيعي واحد.

المبحث الخامس

المناقشة

١,٥ تفسير حالة الجودة ومصادر التلوث

تُظهر النتائج التي تم الحصول عليها، وخاصة التصنيفات المنخفضة لمؤشر CWQI لأغلب المواقع، حالة تدهور بيئي وصحي خطيرة في نهر الفلوجة داخل قضاء عامرية الفلوجة. يعكس التدرج المكاني الواضح في التدهور، من حالة "مقبولة" في المنبع (S01) إلى "مريبة" أو "سيئة" في المصب(S10) ، الطبيعة التراكمية للضغوط البشرية. إن السبب الرئيسي وراء التصنيف "المريب" أو "السيء" لأغراض **حماية الحياة المائية** يعود بشكل حاسم إلى التجاوزات المتكررة والكبيرة في معايير الكادميوم (Cd) والفوسفات (PO_4^{3-}) والطلب البيوكيميائي على الأكسجين (BOD_5). إن وجود الكادميوم بمستويات تجاوزت المعيار الكندي الصارم (٠,٠٩ ميكروغرام/لتر) بأكثر من ٢٠ ضعفاً في بعض العينات) مثل S08 في الشتاء (يشير إلى مصدر صناعي أو حضري واضح، حيث يرتبط هذا المعدن الثقيل السام عادة بالمخلفات الصناعية (مثل الطلاء، البطاريات) وتآكل الأنابيب [٢٦]. كما أن الارتباط الإحصائي القوي بين الكادميوم والرصاص (Pb) الذي كشف عنه تحليل PCA يدعم فرضية مصدر مشترك من الأنشطة البشرية وليس المصادر الجيولوجية. أما ارتفاع مستويات الفوسفات والنيتروجين العضوي) المستنتج من BOD_5 و (CODفي المواقع الزراعية (S03, S06)وفي مواقع التصريف الحضري (S02, S04, S08) فيشير بقوة إلى مساهمتين رئيسيتين: الأول هو الاستخدام غير الرشيد للأسمدة الفوسفاتية والنتروجينية في الزراعة، حيث يتم غسل الفائض منها إلى المجرى المائي عبر الجريان السطحي، والثاني هو تصريف مياه الصرف الصحي المنزلي

غير المعالج أو المعالج جزئياً، وهو مصدر كلاسيكي للمواد العضوية والمغذيات [٢٧]. إن غياب محطات معالجة مركزية فعالة في القضاء، كما هو الحال في العديد من المناطق الريفية العراقية [٢٨]، يفسر الانتشار الواسع للتلوث الميكروبيولوجي (الإشريكية القولونية) والذي كان العامل الحاسم في تصنيف جميع المواقع على أنها غير صالحة للشرب.

٢,٥ مقارنة مع الدراسات السابقة

عند مقارنة هذه النتائج مع الدراسات السابقة في العراق، نجد أنها تنسجم مع الاتجاه العام للتدهور المائي، لكنها تقدم دقة مكانية أكبر وتقييماً كمياً شاملاً عبر مؤشر CWQI. على سبيل المثال، أبلغت دراسة في نهر دجلة في بغداد عن مستويات مرتفعة من الرصاص والكادميوم، لكنها ربطتها بشكل أساسي بالتصريف الصناعي المباشر [٨]. تقدم نتائجنا دليلاً على أن هذه المشكلة ليست حصرية على العاصمة بل تمتد إلى الأنهار الفرعية مثل الفلوجة، مع إبراز دور المصادر المنتشرة (غير النقطية) كالتصريف الزراعي. وبالنسبة للتلوث العضوي والمغذيات، فإن نتائجنا تتطابق مع ما أشارت إليه دراسة في الفرات الأوسط حول تأثير الأنشطة الزراعية [١٢]، لكنها تضيف بعداً جديداً من خلال إظهار كيف يؤدي التفاعل بين التلوث الزراعي والصحي إلى تدهور تراكمي على طول المجرى. من الناحية المنهجية، في حين اعتمدت معظم الدراسات المحلية على مقارنة المعايير الفردية [١١، ١٢]، فإن تطبيق مؤشر CWQI في هذه الدراسة يسمح بتلخيص هذا التدهور المتعدد الأوجه في قيمة واحدة ذات دلالة إدارية واضحة، وهي ميزة سبق التأكيد عليها في دراسات من بيئات مائية أخرى7] ، ٢٠ .[وبالمقارنة مع دراسة استخدمت مؤشراً محلياً لمياه الشرب في العراق[13] ، فإن منهجية CWQI المستخدمة هنا تسمح بمقارنة مباشرة مع معايير دولية وتقييم متزامن لأغراض متعددة، مما يوسع نطاق الاستفادة من النتائج.

٣,٥ تقييم الصلاحية للاستخدامات البشرية والزراعية

إن التصنيف الموحد لجميع المواقع على أنها "**مريبة**" **أو** "**سيئة** "بالنسبة للاستخدام البشري المباشر (الشرب) ينطوي على مخاطر صحية جسيمة لا يمكن تجاهلها. إن التجاوز المستمر لمعيار الإشريكية القولونية (E. coli) يعني وجود تلوث برازي، مما يعرض السكان الذين قد يستخدمون المياه مباشرة (عن طريق الخطأ أو بسبب عدم توفر بديل) لخطر الإصابة بأمراض معدية معوية حادة مثل الكوليرا، والتيفوئيد، والإسهال، خاصة بين الأطفال وكبار السن .[15] أما المخاطر طويلة الأمد فتكمن في تراكم المعادن الثقيلة. فالتعرض المزمن للكادميوم، حتى عند التركيزات المنخفضة نسبياً، يرتبط بتلف الكلى وهشاشة العظام، في حين يرتبط الرصاص

بإعاقات النمو العصبي لدى الأطفال .[29]إن استخدام هذه المياه للغسيل أو الاستحمام ينطوي أيضاً على مخاطر، وإن كانت أقل، بسبب التلامس الجلدي أو الاستنشاق العرضي.

أما فيما يتعلق بالاستخدام الزراعي، فالوضع معقد ويتطلب دراسة متأنية. ويعكس تصنيف نصف المواقع على أنها "مشبوهة" للري تهديدين رئيسيين: الملوحة والسمية. تشير قيم نسبة امتصاص الصوديوم المرتفعة (التي تتجاوز ٣ في مواقع مثل S03 وS10) إلى خطر تدهور بنية التربة (تفككها) وتراكم الصوديوم، مما يقلل من نفاذيتها وإنتاجيتها على المدى الطويل [١٩]. ويؤدي الري المستمر بمياه ذات موصلية كهربائية عالية (>٧٠٠ ميكروسيمنز/سم في بعض العينات) إلى تراكم الأملاح في منطقة جذور النباتات، مما يسبب إجهادًا أسموزيًا ويقلل من المحصول. أما الخطر الثاني، الأقل وضوحًا ولكنه قد يكون أكثر خطورة، فهو تراكم المعادن الثقيلة مثل الكادميوم والرصاص في التربة وانتقالها لاحقًا إلى السلسلة الغذائية. ويمكن للكادميوم، على وجه الخصوص، أن يتراكم في الأوراق الخضراء والحبوب، مما يشكل خطرًا على صحة المستهلكين والحيوانات [٣٠]. لذلك، فإن استخدام هذه المياه للري، وخاصة للمحاصيل الورقية أو التي تستهلك مباشرة، يتطلب مراقبة دقيقة للتربة واختيار المحاصيل المتحملة.

٤,٥ قيود الدراسة والتحديات

على الرغم من أن هذه الدراسة تقدم تقييماً شاملاً وقائماً على مؤشر قوي، إلا أنها لا تخلو من قيود. أولاً، تمثل الفترة الزمنية للدراسة (ثلاثة مواسم في سنة واحدة) قيداً على تعميم النتائج على المدى الطويل، حيث أن جودة المياه في الأنظمة شبه الجافة قد تتقلب بشدة بين السنوات ذات الأمطار الغزيرة والسنوات الجافة [٢١]. ثانياً، ركزت قائمة المعايير على الملوثات التقليدية، ولم تشمل "الملوثات الناشئة" مثل بقايا الأدوية والمنتجات الشخصية والعناية بالمستهلك (PPCPs) أو مبيدات الآفات الحديثة، والتي بدأ ظهورها كمصدر قلق في الدراسات العالمية [٣١]. ثالثاً، بينما حدد تحليل PCA مصادر تلوث محتملة، فإن منهجية الدراسة لا يمكنها تحديد نقطة التصريف الدقيقة أو تحميلها الكمي بدقة، مما يستدعي دراسات تتبع أكثر تخصصاً .أخيراً، تم افتراض أن قيم المعايير الكندية (CCME) والمنظمة (FAO) قابلة للتطبيق مباشرة على البيئة المحلية، دون تعديلات قد تستند إلى حساسية الأنواع المائية المحلية أو أنواع التربة السائدة، وهو افتراض شائع في الدراسات الأولية ولكنه يحتاج إلى مزيد من التدقيق في أبحاث المتابعة.

٥,٥ الآثار البيئية والإدارية

تمثل نتائج هذه الدراسة جرس إنذار واضح لصناع القرار ومخططي إدارة الموارد المائية في محافظة الأنبار والقضاء. إن استخدام مؤشر CWQI يترجم البيانات العلمية المعقدة إلى لغة

تقييم بسيطة (ممتاز، جيد، مقبول، إلخ) يمكن فهمها من قبل غير المتخصصين، مما يسهل عملية التواصل واتخاذ القرار [٢٠]. هناك حاجة ماسة لخطة عمل عاجلة ومتعددة المحاور. أولاً، على المستوى العاجل، يجب تنفيذ حملات توعية للمجتمعات المحلية حول المخاطر الصحية لاستخدام مياه النهر مباشرة للشرب أو الغسيل، مع توفير بدائل مؤقتة مثل صهاريج المياه المعالجة. ثانياً، على المستوى المتوسط، يجب أن تكون الأولوية القصوى هي معالجة مصادر التلوث النقطية، وخاصة تصريف مياه الصرف الصحي غير المعالج، من خلال تطوير أو إعادة تأهيل محطات المعالجة في القضاء والبلدات المجاورة .ثالثاً، تتطلب الممارسات الزراعية إصلاحاً عبر تشجيع الزراعة الذكية مناخياً التي تقلل من استخدام الأسمدة الكيميائية وتحسن كفاءة الري، مما يخفف من حمل المغذيات والأملاح. رابعاً، هناك حاجة إلى إنشاء نظام مراقبة مستدام لجودة المياه يستخدم منهجية CWQI لتقييم الاتجاهات طويلة المدى وقياس فعالية سياسات التدخل. أخيراً، يجب أن توجه النتائج التخطيط المكاني لمنع إقامة صناعات ملوثة جديدة بالقرب من المجرى المائي وتنظيم عمليات الصرف الحالية. تعتبر حماية نهر الفلوجة ليس مسألة بيئية فحسب، بل هي قضية أمن مائي وصحي واجتماعي واقتصادي تتطلب تعاوناً بين الجهات الحكومية المحلية والمركزية والمجتمع المدني.

الخاتمة والتوصيات:

تؤكد نتائج هذه الدراسة بشكل قاطع أن جودة مياه نهر الفلوجة في قضاء الفلوجة العامرية تتسم بتدهور بيئي وصحي خطير. صُنفت المياه بأنها غير صالحة للشرب في جميع المواقع المدروسة، حيث تراوحت جودتها بين "مقبولة" و"سيئة" لحماية الحياة المائية. بقي نصف المواقع فقط صالحًا للري الزراعي نظرًا لمخاطر الملوحة والسمية المحتملة. أظهر التطبيق الأول لمؤشر جودة المياه الكندي (CWQI) في هذا السياق قيمة هذه الأداة المتكاملة في تبسيط التعقيد الكبير لبيانات مراقبة الجودة وتحويلها إلى قرارات إدارية واضحة وقابلة للتطبيق. يُقدم تدرج التدهور من المنبع (الموقع S01) إلى المصب (الموقع S10)، بالإضافة إلى تجميع مواقع أخذ العينات في تحليل المكونات الرئيسية (PCA) وفقًا لأنماط استخدام الأراضي، دليلًا قاطعًا على أن الأنشطة البشرية – ولا سيما تصريف مياه الصرف الصحي المنزلية غير المعالجة، والجريان السطحي الزراعي المحمل بالمغذيات والمبيدات، والنفايات السائلة من الأنشطة الحضرية والصناعية الخفيفة – هي المحركات الرئيسية لهذا التدهور. الاستنتاج الرئيسي هو أن نهر الفلوجة، باعتباره مورداً حيوياً، يعاني من عبء تلوث متعدد المصادر يتجاوز قدرته الطبيعية على تحمله ذاتياً، الأمر الذي يستدعي تدخلاً إدارياً عاجلاً ومنسقاً.

انطلاقاً من هذه الاستنتاجات، تبرز سلسلة من التوصيات ذات الأولوية. على الصعيد **العملي والإجرائي**، من الضروري تنفيذ إجراءات عاجلة لوقف التلوث عند مصادره، مع إعطاء الأولوية المطلقة لمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلي قبل تصريفها في النهر، سواء من خلال إعادة تأهيل محطات المعالجة القائمة أو إنشاء وحدات معالجة محلية مناسبة للمجتمعات الريفية. يتطلب الأمر أيضاً إنشاء نظام مراقبة دوري ودائم يعتمد على منهجية CWQI في عدد من المحطات الرئيسية على طول المجرى لرصد الاتجاهات وتقييم فعالية سياسات التحسين. يجب تكثيف الجهود لتوعية المزارعين بمخاطر الإفراط في استخدام الأسمدة الكيماوية وتشجيع اعتماد ممارسات زراعية تحفظية تقلل من الجريان السطحي الملوث. على الجانب **البحثي المستقبلي**، تقترح هذه الدراسة توسيع نطاق المراقبة ليشمل ملوثات ناشئة مثل الأدوية ومستحضرات العناية الشخصية، وإجراء تقييم كمي تفصيلي للأثر التراكمي للمعادن الثقيلة في التربة والمحاصيل في المناطق المروية بمياه النهر. كما أن هناك حاجة ماسة لدراسة الجدوى والفعالية لتقنيات المعالجة الطبيعية (كالأراضي الرطبة الاصطناعية أو استخدام النباتات الماصة) كحلول منخفضة التكلفة ومستدامة للتحسين المبدئي لجودة المياه في هذا السياق. أما على مستوى **السياسات والتشريعات**، فإن تفعيل القوانين البيئية العراقية ذات الصلة وفرض الرقابة على مصادر التلوث النقطية يعد خطوة حتمية. يحتاج النجاح في معالجة هذه القضية المعقدة إلى تعاون مؤسسي غير مسبوق بين وزارات البيئة والموارد المائية والصحة والزراعة والسلطات المحلية في المحافظة والقضاء، مما يستوجب تشكيل لجنة تنسيقية مشتركة تتبنى خطة عمل واضحة المعالم تستند إلى النتائج العلمية مثل تلك الواردة في هذه الدراسة. فقط من خلال اتباع نهج متكامل يجمع بين الإجراءات العاجلة، والرصد المستمر، والبحث التطبيقي، والإرادة السياسية، يمكن بدء مسار التعافي لهذا المورد المائي الحيوي وضمان صحة المجتمع والاستدامة البيئية والزراعية في قضاء عامرية الفلوجة.

الشكر والتقدير:

شكر المؤسسات الداعمة، المختبرات، المساعدين في أخذ العينات، والمستشارين.

المراجع:

1. Abd-El-Mooty, M., Kansoh, R., & Abdulhadi, A. (2016). Challenges of water resources in Iraq. *Hydrology Current Research*, *7*(4), 1-8.
2. Al-Shujairi, S. O. H. (2013). Develop and apply water quality index to evaluate water quality of Tigris and Euphrates Rivers in Iraq. *International Journal of Modern Engineering Research*, *3*(4), 2119-2126.
3. Abbas, J. (2013). Assessment of water quality in Tigris River-Iraq by using GIS mapping. *Natural Resources*, *2013*.
4. Al-Ansari, N., Jawad, S., Adamo, N., & Sissakian, V. (2019). Water quality and its environmental implications within Tigris and Euphrates rivers. *Journal of earth sciences and geotechnical engineering*, *9*(4), 57-108.
5. WATER, C. (2001). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. *User's Manual. Canadian Council of Ministers of the Environment. USA*.
6. Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, *117*(10).
7. Lumb, A., Sharma, T. C., & Bibeault, J. F. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water quality, exposure and health*, *3*(1), 11-24.
8. Altahaan, Z., & Dobslaw, D. (2024). Assessment of the impact of war on concentrations of pollutants and heavy metals and their seasonal variations in water and sediments of the Tigris River in Mosul/Iraq. *Environments*, *11*(1), 10.
9. Allawai, M. F., & Ahmed, B. A. (2019). Using GIS and remote sensing techniques to study water quality changes and spectral analysis of Tigris River within Mosul City, North of Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 2300-2307.
10. Hasan, A. A., Al-Alawy, I. T., & Daway, H. G. (2024, February). Study water quality index (WQI) for Tigris and Euphrates rivers, Iraq. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2922, No. 1, p. 150013). AIP Publishing LLC.

11. Khalaf, H. A., & Abedullah, S. (2021). Studying the Percentage of Water Pollution in the City of Fallujah and Determining the Efficiency of Filtering Plants in Purifying Drinking Water. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, *25*(6), 9427-9440.
12. Khafaji, M. S. A., Alwan, I. A., Khalaf, A. G., Bhat, S. A., & Kuriqi, A. (2022). Potential use of groundwater for irrigation purposes in the Middle Euphrates region, Iraq. *Sustainable Water Resources Management*, *8*(5), 157.
13. Ameen, H. A. (2019). Spring water quality assessment using water quality index in villages of Barwari Bala, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. *Applied Water Science*, *9*(8), 176.
14. Bahrami, M., Khaksar, E., & Bahrami, A. (2022). Groundwater quality evaluation for potable and irrigation uses in the semi-arid region of southern Iran. *Irrigation and Drainage*, *71*(3), 749-765.
15. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*
16. Veal, L. E. E. A. N. N. (2021). United States environmental protection agency. *US Environmental Protection Agency (EPA)(2005) National Management Measures to Control Non-Point Source Pollution for Urban Areas*.
17. Ewaid, S. H., Hussein, T. D., & Emran, F. K. (2018). Fuzzy logic inference index to assess the water quality of tigris river within baghdad city. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, *29*(3), 16-20.
18. Hintz, W. D., Arnott, S. E., Symons, C. C., Greco, D. A., McClymont, A., Brentrup, J. A., ... & Weyhenmeyer, G. A. (2022). Current water quality guidelines across North America and Europe do not protect lakes from salinization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(9), e2115033119.
19. Khan, A. A., Paterson, R., & Khan, H. (2004). Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. *Water Quality Research Journal*, *39*(3), 285-293.
20. Ramalho, C., Will, A., Macleod, J., & van Zyll de Jong, M. (2014). Exploring the sustainability of drinking water systems in

Newfoundland and Labrador: A scoping document. *Grenfell Campus-Memorial University of Newfoundland, Harris Centre: Corner Brook, NL, Canada*.

21. Al-Maliki, L. A., Al-Mamoori, S. K., Al-Ansari, N., El-Tawel, K., & Comair, F. G. (2022, December). Climate change impact on water resources of Iraq (a review of literature). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1120, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
22. Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater.
23. Chapman, D. V. (2021). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. CRC Press.
24. Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater.
25. Field, A. P. (2024). Discovering statistics using IBM SPSS statistics Andy Field.
26. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, *7*(2), 60.
27. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, *8*(3), 559-568.
28. Moyel, M. S., & Hussain, N. A. (2015). Water quality assessment of the Shatt al-Arab river, Southern Iraq. *Journal of coastal life medicine*, *3*(6), 459-465.
29. World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda*. World Health Organization.
30. McLaughlin, M. J., Parker, D. R., & Clarke, J. M. (1999). Metals and micronutrients–food safety issues. *Field crops research*, *60*(1-2), 143-163.
31. Patel, M., Kumar, R., Kishor, K., Mlsna, T., Pittman Jr, C. U., & Mohan, D. (2019). Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic

systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chemical reviews*, *119*(6), 3510-3673.