

Nutrient Loading Dynamics and Water Quality Assessment in the Northern Al-Kabir River Estuary Using an Integrated PCA–Redfield–CCME WQI Approach

Zainab Ezzat Ebrahim^{*} 

Dr. Aziz Mohamad Assad^{**}

Dr. Sawsan Abdullah Haifa^{***}

(Received 11 / 6 / 2026. Accepted 13 / 8 / 2026)

□ ABSTRACT □

This study was conducted during the period 2023–2024 at the estuary of the Al-Kabeer Al-Shamali River, located in the Al-Raml Al-Janoubi area, Latakia Governorate, Syria, to investigate the dynamics of nutrient transport and assess their impact on water quality. Principal Component Analysis (PCA), the Redfield ratio (N:P), monthly nutrient load calculations, and the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) were applied. One water sample was collected monthly over one year. River discharge and several physicochemical parameters were measured, including pH, temperature, total hardness, electrical conductivity, turbidity, phosphate, nitrate, nitrite, ammonium, chloride, and sulfate. The PCA results indicated that the nutrient group (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}), represented one of the major factors controlling variations in water quality. Monthly nutrient load analysis showed that periods of high river discharge during winter transported greater quantities of nutrients to the coastal environment. The Redfield ratio was considerably higher than the reference ratio (16:1), indicating phosphorus limitation and the sensitivity of the system to any additional phosphorus input. The CCME WQI value was 46.03, classifying the water quality as "Marginal", reflecting water quality deterioration due to elevated nutrient and ionic concentrations and the exceedance of most measured parameters beyond the permissible limits specified by the Syrian Standard Specifications (2007).

Keywords : Northern Al- Kabir River, water quality indices, water nutrient loads, Redfield ratio

Copyright



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

^{*} Master's student, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University(formerly Tishreen), Latakia, Syria. zainab.ebrahim@latakia-univ.edu.sy.

^{**} Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University(formerly Tishreen) Latakia, Syria. azizassaad@latakia-univ.edu.sy.

^{***} Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University (formerly Tishreen) Latakia, Syria. sawsanhaifa@latakia-univ.edu.sy

ديناميكية أحمال المغذيات وتقييم جودة المياه في مصب النهر الكبير الشمالي باستخدام نهج تكاملي يعتمد على تحليل المكونات الرئيسية (PCA) ونسبة ريدفيلد CCME ومؤشر

زينب عزات ابراهيم*

د. عزيز محمد أسعد**

د. سوسن عبدالله هيفا***

(تاريخ الإيداع 11 / 6 / 2026. قبل للنشر في 13 / 8 / 2026)

□ ملخص □

أُجريت هذه الدراسة خلال الفترة 2023-2024 م ، في محافظة اللاذقية عند مصب النهر الكبير الشمالي في منطقة الرمل الجنوبي ، بهدف تحليل ديناميكية انتقال المغذيات وتقييم تأثيرها في جودة المياه. اعتمدت الدراسة على تحليل المكونات الرئيسية (PCA)، ونسبة ريدفيلد (N:P)، وحساب الأحمال الشهرية للمغذيات، إضافة لتطبيق مؤشر جودة المياه الكندي (CCME WQI). أخذت عينة واحدة شهرياً على مدار عام كامل، كما تم قياس التدفق ومجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية (pH, T, TH, EC, Turbidity, PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ Cl^- , SO_4^{2-}). أظهرت نتائج PCA أن مركب المغذيات (NO_3^- , NO_2^- , NO^- , PO_4^{3-}) أحد العوامل الرئيسية المتحكم في تغير جودة المياه. كما بينت نتائج الأحمال الشهرية أن فترات ارتفاع التدفق النهري خلال فصل الشتاء تسهم في نقل كميات أكبر من المغذيات إلى البيئة الساحلية. كما بينت نسبة ريدفيلد قيمة مرتفعة مقارنة بالنسبة المرجعية $1:N:P = 16$ ، مما يدل على محدودية الفوسفور وحساسية النظام لأي زيادة فيه. وصنّف مؤشر CCME WQI ضمن الفئة الحدية بقيمة 46.03 ، مما يعكس تراجع جودة المياه نتيجة ارتفاع تراكيز المغذيات و الأيونات وتجاوز معظم القيم الحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية السورية (2007).

الكلمات المفتاحية: النهر الكبير الشمالي، مؤشرات جودة المياه، أحمال المغذيات، نسبة ريدفيلد.



حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

*طالبة ماجستير - كلية الهندسة الزراعية - جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - اللاذقية - سورية.

zainab.ebrahim@latakia-univ.edu.sy

** مدرس - كلية الهندسة الزراعية - جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - اللاذقية - سورية. azizassaad@latakia-univ.edu.sy

***أستاذ - كلية الهندسة الزراعية - جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - اللاذقية - سورية.

sawsanhaifa@latakia-univ.edu.sy

مقدمة:

تُعدّ مشكلة تلوث المياه من أبرز التحديات البيئية المعاصرة لما تُحدثه من تغيّرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه، وما يترتب عليها من آثار مباشرة على صحة الإنسان والكائنات الحية واستقرار النظم البيئية [25]. ويُعدّ التلوث بالمغذيات، ولا سيما مركبات النيتروجين والفوسفور، من أخطر أشكال التلوث الكيميائي نظراً لدوره المحوري في تغيير استقرار النظم المائية وتحفيز ظاهرة الإثراء الغذائي [13] [26] [30].

وقد أدّت الزيادة المستمرة في المدخلات البشرية إلى ارتفاع تراكيز المغذيات (كالنترات والفوسفات والأمونيوم) في الأنهار — تنتج هذه المغذيات من الأسمدة الزراعية، وتصريف مياه الصرف الصحي، والمخلفات الصناعية، مما جعلها أكثر عرضة لعدم الاستقرار الكيميائي والبيولوجي [17]. وتُعدّ هذه العناصر ضرورية لنمو الكائنات الحية المائية، إلا أن زيادتها عن الحدود الطبيعية تؤدي إلى تحفيز الإنتاجية الأولية وازدهار الطحالب، الأمر الذي ينعكس سلباً على النظام البيئي المائي من خلال انخفاض تركيز الأكسجين الذائب وحدوث ظروف نقص الأكسجة (Hypoxia)، مما يهدد الكائنات الحية المائية ويؤثر في التوازن البيئي [18].

تبرز الأنهار بوصفها أحد أهم المسارات التي تنقل المغذيات من اليابسة إلى البيئات الساحلية. وتزداد أهمية دراسة هذه الظاهرة في مناطق المصببات النهرية (Estuaries)، التي تمثل بيئات انتقالية معقدة شديدة الحساسية تتأثر بتفاعل المياه العذبة مع المياه المالحة، حيث تتداخل فيها العمليات الهيدرولوجية والبيوجيوكيميائية بشكل معقد، مما يجعلها بيئات نموذجية لدراسة عدم الاستقرار في جودة المياه. [11] [34]

وتُعدّ المصببات النهرية من البيئات ذات الأهمية البيولوجية العالية، نظراً لغناها بالتنوع الحيوي من نباتات وكائنات حية مائية تتكيف مع الظروف المتغيرة، إضافة إلى كونها مناطق حيوية لمختلف الأنشطة البشرية مثل الصيد، والنقل، والتنمية الساحلية [3] [19]. وعلى طول التدرج الانتقالي بين المياه العذبة والبحرية في مناطق المصببات، تخضع المغذيات لعدد من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وتُساهم هذه العمليات في تزويد المياه الساحلية بالمغذيات، ضمن إطار الدورة البيوجيوكيميائية التي تتحكم في مستوى الإنتاجية الأولية في البيئة البحري [20]. كما يلعب التدفق النهري دوراً محورياً في نقل المغذيات وتوزيعها داخل الأنهار والمصببات، حيث تزداد الأحمال خلال فترات الجريان المرتفع، بينما تزداد مدة المكوث والتركيز النسبي خلال فترات الانخفاض، مما يعزز العمليات الداخلية مثل النترية ونزع النترية وتحرر الفوسفور من الرسوبيات [10] [27].

وعليه، فإن تزايد الضغوط على الأنظمة النهرية والمصببات، إلى جانب تدهور نوعيتها نتيجة الأنشطة البشرية، تبرز الحاجة إلى دراسات متخصصة تدمج بين حساب أحمال المغذيات وتحليل المكونات الرئيسية (PCA) لتحديد أنماط التباين الرئيسية وعزل العوامل المسيطرة على النظام المائي ونسبة ريدفيلد (Redfield Ratio) التي تعد أداة أساسية لتحديد حالة الاتزان الغذائي داخل النظام المائي، إذ تسمح بتحديد العنصر المحدّد للنمو الحيوي من خلال العلاقة بين النيتروجين والفوسفور [6] [7]، ومؤشر جودة المياه، حيث يعد الموديل الكندي لمؤشر جودة المياه (CCME WQI) من أكثر الموديلات استخداماً وشيوعاً في العالم، ويستخدم كأداة تكاملية لتقييم صحة المصدر المائي بعدد وحيد تم الحصول عليه نتيجة لحل معادلة رياضية، ومتغيرات هذه المعادلة هي نتائج قياسات المؤشرات الأكثر تأثيراً وخطورةً على المصدر المائي ومن ثم تمت مقارنة هذا العدد بمعايير تصنيف نظامية حيث تكون هذه المعايير مقسمة إلى درجات من السيء جداً إلى الممتاز أو عالي الجودة. ويتميز هذا المؤشر بقدرته على تمثيل الضغط التراكمي الناتج عن تفاعل عدة متغيرات في آن واحد، بدلاً من تقييمها بشكل منفصل [28]، وبالتالي تفسير قابلية النظام لحدوث الإثراء الغذائي واستمراره.

يُعدّ النهر الكبير الشمالي أحد أهم الموارد المائية في الساحل السوري، ويتميّز حوض النهر بغطاء نباتي كثيف إضافة لاستخدامه كمصدر هام لمياه الري لعدد كبير من القرى، تقع على ضفتيه العديد من الصناعات والأنشطة البشرية مما يجعله عرضة لتدفق كميات مختلفة من المغذيات والملوثات التي يمكن بدورها أن تصل عبر مصب النهر الكبير الشمالي إلى البحر، وهكذا فإن البيئة البحرية المجاورة والكائنات التي تعيش فيها عرضة لهذه الملوثات على اختلاف أنواعها وسميتها، لذلك يجب أن يخضع إلى مراقبة دورية.

أهمية البحث وأهدافه:

تتعرض الموارد المائية السطحية، خاصة مصبات الأنهار، لضغوط بشرية ومناخية تؤدي إلى ارتفاع المغذيات وتدهور نوعية المياه وحدوث الإثراء الغذائي [32][33]. وعلى الرغم من وجود دراسات تناولت جودة المياه في الأنهار، فإن معظمها ركز على قياس تراكيز المغذيات دون تقدير أحمالها الفعلية المنقولة إلى البيئة البحرية، كما أن الدراسات التي دمجت بين تحليل النظام الهيدروديناميكي، وحساب أحمال المغذيات، وتحليل المكونات الرئيسية (PCA)، ونسبة ردفيلد (N:P)، ومؤشر جودة المياه الكندي (CCME WQI) في تقييم مصبات الأنهار لا تزال محدودة، ولا سيما في مصب النهر الكبير الشمالي على الساحل السوري. لذلك تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تقديم تقييم تكاملي لمعرفة مدى تأثيرها في جودة المياه وخطر الإثراء الغذائي.

تهدف هذه الدراسة إلى:

- تقدير الأحمال الشهرية للمغذيات المنقولة نحو المصب بدلاً من الاعتماد على التراكيز فقط، وتقييم دور التصريف المائي في التحكم بكمية المغذيات المصدرة إلى البيئة البحرية
 - تحديد العوامل الرئيسية المؤثرة في تغير جودة المياه باستخدام تحليل المكونات الرئيسية (PCA).
 - تقييم الحالة الغذائية للنظام المائي وتحديد العنصر المحدد للنمو الحيوي باستخدام نسبة ردفيلد (N:P).
 - تقييم الحالة العامة لجودة المياه باستخدام مؤشر جودة المياه الكندي (CCME WQI) وربطها بضغط المغذيات والتغيرات الهيدرولوجية.
- تتحكم التغيرات الموسمية في النظام الهيدروديناميكي في انتقال المغذيات وأحمالها نحو مصب النهر الكبير الشمالي، كما تؤثر التغيرات الموسمية في انتقال المغذيات في جودة المياه والحالة الغذائية للمصب، وهو ما يمكن الكشف عنه باستخدام الأحمال الشهرية، وتحليل PCA، ونسبة ردفيلد، ومؤشر CCME WQI.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي والتحليلي القائم على الرصد الميداني وجمع العينات وتحليلها مخبرياً إلى جانب استخدام الأساليب الإحصائية لتفسير البيانات وتقييم جودة المياه.

موقع الأعتيان: أجريت الدراسة في محافظة اللاذقية، وتحديداً في منطقة الرمل الجنوبي عند مصب النهر الكبير الشمالي على الساحل السوري، حيث تم جمع عينات المياه بشكل دوري بمعدل عينة شهرياً (3 مكررات لكل عينة) من موقع محدد يبعد حوالي 50 متر قبل مصب النهر في البحر، وذلك في أضيق مقطع من المجرى لضمان تمثيل أفضل لخصائص المياه. كما أجريت القياسات الهيدرومترية الأساسية في الموقع المدروس، والتي شملت: متوسط عمق النهر، عرض المجرى، طول المقطع المدروس، وسرعة الجريان، وذلك بهدف حساب معدل التدفق. امتدت فترة الدراسة ثلاثة عشر شهراً.



الشكل (1) نقطة المصب

نُقلت العينات مباشرة إلى المخبر لإجراء التحاليل اللازمة. تم قياس تركيز الأكسجين المنحل ودرجة حرارة المياه مباشرة في الموقع عند نقطة المصب، باستخدام جهاز قياس الأكسجين المنحل (DO Meter)، تم إجراء التحاليل التالية مخبرياً: درجة الملوحة (EC) باستخدام جهاز قياس الناقلية الكهربائية ودرجة الحموضة (pH) باستخدام (pH Meter)، العكارة (Turbidity) قيسَت باستخدام جهاز قياس العكارة، تم تحديد تراكيز كلٍّ من الفوسفات النترات، والأمونيوم والنترت والكبريتات باستخدام جهاز المطياف الضوئي (Photometer 7100)، وذلك وفق الطرق القياسية التالية:

الفوسفات: باستخدام طريقة الفوسفوموليبيدات (Phosphomolybdate)، النترات: باستخدام طريقة WTD (اختزال الكادميوم)، الأمونيوم: باستخدام طريقة نسلر (Nessler Method)، النترت: طريقة WTD Nitricol (حمض السلفانيليك)، الكبريتات طريقة palintest Sulphate، أما الكلوريدات طريقة المعايرة الحجمية بمحلول نترات الزئبق (Hg (NO₃)₂). والقساوة بطريقة المعايرة الحجمية بمحلول قياسي من EDTA.

تقدير أحمال المغذيات: تُمثل أحمال المغذيات، ولا سيما النترات والفوسفات والأمونيوم، مؤشراً أساسياً لتقييم جودة المياه ودورها في دعم الأنظمة البيئية المائية. ويُعبّر عن هذه الأحمال من خلال القانون التالي:

$$\text{الحمل} = \text{التركيز} \times \text{التدفق} \times \frac{86400}{1000} \times N$$

حيث أن N هي عدد أيام الشهر

مما يتيح تقدير الكمية الفعلية المنقولة بوحدات مثل (كغ/يوم أو كغ/شهر)، وهو ما يعكس بدقة حجم المغذيات المنقولة نحو المصببات والبيئات الساحلية.

منهجية التحليل الإحصائي:

أجري التحليل الإحصائي باستخدام البرنامج SPSS 25 عند فروقات معنوية 0.05 و 0.01 وتم حساب كل من المتوسط والانحراف المعياري لتراكيز كل عنصر من العناصر المدروسة وضمن موقع جمع العينات كما تم حساب معامل الارتباط بين تغيرات تراكيز العناصر المدروسة بهدف معرفة ما إذا كانت هذه المغذيات من مصدر واحد أو من عدة مصادر.

تم تطبيق تحليل المركبات الرئيسية (PCA) بهدف اختزال عدد المتغيرات الفيزيائية والكيميائية لمياه النهر. والكشف عن العوامل المسيطرة على تباين جودة المياه. أُجري التحليل باستخدام برنامج IBM SPSS Statistics.

نسبة Redfield في المياه (N:P Ratio)

تُعد نسبة ردفيلد أحد المبادئ الأساسية في علم المحيطات والبيوجيوكيمياء المائية، حيث تعبر عن النسبة المولية التقريبية للعناصر الغذائية الرئيسة في المياه الطبيعية، وهي الكربون (C) والنيتروجين (N) والفوسفور (P)، والتي تعكس في الوقت ذاته التركيب الكيميائي للكتلة الحيوية للعوالق النباتية. تعتمد عملية حساب نسبة Redfield ratio على تحديد تراكيز العناصر الغذائية الأساسية، خصوصاً النيتروجين والفوسفور.

تم حساب نسبة ردفيلد على أساس النسبة المولية بين النيتروجين غير العضوي الذائب (DIN) والفوسفور غير العضوي الذائب (DIP)، حيث تم التعبير عنها كنسبة N:P وليس P:N. تم حساب تركيز النيتروجين غير العضوي الذائب من مجموع تراكيز أشكال النيتروجين المقاسة: (DIN): $N_{total} = NO_3 + NO_2 + NH_4$ أما الفوسفور غير العضوي الذائب فقد تم تمثيله بتركيز الفوسفات الذائب (PO_4^{3-}) والذي تم تحويله إلى مكافئ الفوسفور العنصري ($P-PO_4$) بوحدة ($\mu M/L$) قبل استخدامه في حساب النسبة، وذلك لأن المقارنة وفق نسبة ردفيلد تعتمد على عدد مولات العناصر وليس على التراكيز الكتلية. تم تحويل تراكيز النيتروجين والفوسفور من وحدة (mg/L) إلى ($\mu M/L$) باستخدام الكتل المولية للعناصر، حيث استخدمت الكتلة المولية للنيتروجين ($14 g/mol$) وللفوسفور ($31 g/mol$) والفوسفات ($95 g/mol$)، وفق مايلي:

$$P = \frac{P(mg) \times 1000}{31}$$

$$P = \frac{PO_4(mg/l) \times 1000}{95}$$

$$N = \frac{N(mg/l) \times 1000}{14}$$

ثم تم حساب النسبة:

$$N:P = \frac{N(\mu M)}{P(\mu M)}$$

وتفسير النتائج ومقارنتها مع النسبة المرجعية لردفيلد $N:P = 16:1$. حيث تشير القيم الأعلى من 16 إلى وجود فائض نسبي في النيتروجين مقارنة بالفوسفور، مما يدل على احتمال محدودية الفوسفور للنمو الحيوي، في حين تشير القيم الأقل من 16 إلى احتمال محدودية النيتروجين، أما القيم القريبة من 16 فتعكس توازنًا نسبيًا بين العنصرين يُعد هذا التحليل أداة مهمة لفهم ديناميكية نمو العوالق النباتية، وتقدير شدة ظاهرة الإثراء الغذائي، وكذلك تقييم انعكاساتها على جودة المياه. [6][7][27]

منهجية المؤشر الكندي (CCME WQI)

تم إيجاد موديل جودة المياه الكندي في عام 1995 بناءً على موديل جودة المياه الصادر عن جامعة كولومبيا البريطانية. تتميز ميزة هذا الموديل في استخدام العديد من متغيرات الجودة، يتم حساب موديل جودة المياه الكندي [8] باستخدام طريقة موديل البيئة لمجلس الوزراء الكندي. تستخدم التعبيرات التالية لتحديد CWQI لدراستنا. يتم الجمع بين ثلاثة عوامل لحساب CCME WQI هي: F_1 (النطاق) و F_2 (التردد) و F_3 (السعة).

$$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (1)$$

F_1 (Scope) المدى: تمثل النسبة المئوية للمتغيرات المتجاوزة للحدود القياسية مقارنة بالعدد الكلي للمتغيرات (ولو مرة واحدة خلال فترة الدراسة).

$$F_1 = \left(\frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total number of variables}} \right) * 100 \quad (2)$$

F_2 (Frequency) التردد: النسبة المئوية للفحوصات الفردية المتجاوزة للحدود القياسية على العدد الكلي للفحوصات.

$$F_2 = \left(\frac{\text{Number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \right) * 100 \quad (3)$$

F_3 (Amplitude) السعة: تمثل كمية الاختبارات المتجاوزة وتحسب بمرحلتين:

1- المرحلة الأولى: عدد مرات تجاوز التراكيز الفردية للحدود القياسية ويطلق عليها الانحراف (Excursion) وتحسب كما يلي:

$$Excursion = \left(\frac{\text{قيمة الفحص المتجاوز}}{\text{القيمة القياسية}} \right) - 1$$

وفي حال كون قيمة الاختبار المتجاوز أكبر من القيمة القياسية تحسب بقلب النسبة.

2- المرحلة الثانية: كمية مجموعة الاختبارات الفردية المتجاوزة ويتم حسابها بجمع الانحرافات الفردية وقسمتها على العدد الكلي للفحوصات (المتجاوزة وغير المتجاوزة) ويطلق على هذا المتغير مجموع الانحرافات المعدلة (Normalization of Excursion) ويرمز له (nse):

$$nse = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Excursion}{\text{Number of tests}} \right) \quad (4)$$

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

تصنف جودة المياه حسب ناتج المعادلة الخاصة بحساب مؤشر جودة المياه الكندي، والذي يتراوح بين 1 و 100، وذلك وفق تقسيمات ومعايير ذكرت سابقاً (الجدول 1).

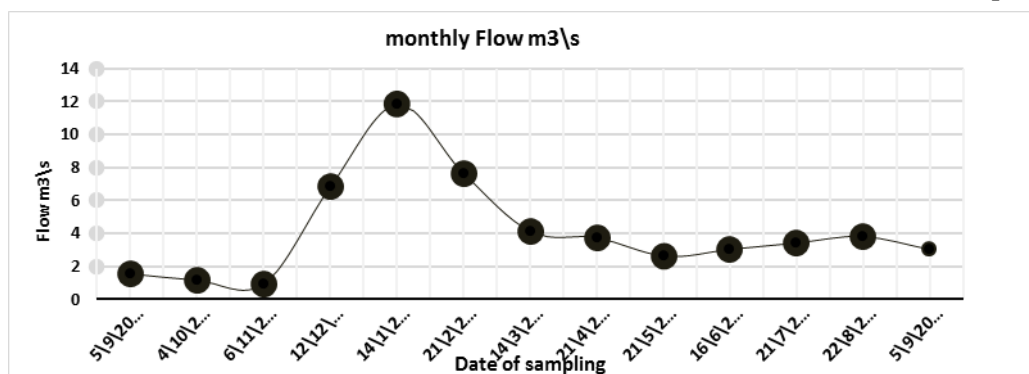
تنتج المعادلة الخاصة بحساب مؤشر جودة المياه الكندي عدداً يتراوح بين 1 و 100، حيث يمثل 1 فقر المياه ويشير 100 إلى أفضل جودة للمياه. ضمن هذا النطاق تم وضع التعيينات من قبل [8] لتصنيف جودة المياه على أنها رديئة أو هامشية أو عادلة أو جيدة أو ممتازة. يتم عرض الدلالات الخاصة بهذا المؤشر وفقاً للجدول (1) التالي [5].

الجدول (1) الدلالات الخاصة بمؤشر جودة المياه الكندي:

التصنيف	القيمة	الوصف
جيد جداً إلى ممتاز	100-95	تعني الغياب التام لأي ضعف في نوعية المياه وطبيعة المياه قريبة جداً من المستويات الطبيعية أو التي لم يحدث بها أي تلوث.
جيد	94-80	تعني أن نوعية المياه محفوظة بدرجة طفيفة من التدهور في خصائصها. والمياه نادراً ما تحيد عن المستويات الطبيعية المرغوب بها.
وسط - مقبول	79-65	تعني أن نوعية المياه تضعف من حين إلى آخر أي أحياناً تحيد عن المستويات الطبيعية المرغوب بها.
سيء - قريب من الحد الأدنى	64-45	تعني أن نوعية المياه تضعف كثيراً أو تتدهور أي بشكل متكرر تحيد عن المستويات الطبيعية المرغوب بها.
رديء جداً	44-0	تعني أن نوعية المياه في معظم الأوقات أو دائماً متدهورة وهي دائماً خارج المستويات الطبيعية المرغوب بها.

النتائج والمناقشة:

أجريت مجموعة من التحاليل المخبرية لمؤشرات جودة المياه الفيزيائية، الكيميائية لمصب النهر الكبير الشمالي، وذلك وفق الطرق القياسية المعتمدة. نفذت هذه الدراسة للفترة الممتدة من شهر أيلول 2023 حتى شهر أيلول للعام 2024. نتائج تحليل العينات المائية مبينة بالجدول رقم (2) حيث بينت نتائج تحليل العينات الشهرية مايلي: تراوحت قيم التدفق بين (0.93 - 11.8 م³/ثا) سُجلت أدنى القيم في الخريف نتيجة انخفاض الهطولات المطرية وضعف التغذية السطحية والجوفية، وبلغت أعلى القيم في الشتاء بسبب زيادة الأمطار والجريان السطحي وارتفاع مساهمة المياه الجوفية [21].



الشكل (2) يوضح تغير قيم التدفق خلال البحث.

أما بالنسبة لـ pH كان بين (7.5 - 8.15)، وهو ما يعكس استقراراً نسبياً في الخصائص الكيميائية للمياه، بالنسبة للملوحة كانت (1030-2970 µS/cm) انخفاض التدفق وزيادة التبخر يرفعان الملوحة وهو ما يتفق مع الدراسات السابقة حول تأثير التدفق الموسمي والتبخر على تركيز الأملاح في الأنظمة المائية الانتقالية [21].

أما العكارة أظهرت النتائج تذبذباً موسميًا واضحًا ($NTU 27.3-3.85$) (الارتفاع يعكس تأثر النظام المائي بأحداث مطرية أو تدفقات قوية أدت إلى نقل كميات أكبر من الجسيمات الدقيقة إلى الماء، يُظهر هذا الارتفاع العلاقة المباشرة بين الظروف الهيدرولوجية والموسمية وقيم العكارة، تراوحت درجات الحرارة بين $(15-31.6^{\circ}C)$ حيث ارتفعت درجات الحرارة صيفًا وانخفضت شتاءً. أما قيم DO تراوحت بين $(2.32$ و 8.76 مغ/ل). بالنسبة لتراكيز الكلوريدات تراوحت بين $(84$ و 935 مغ/لتر) خلال فترة الرصد.

أما تراكيز الكبريتات تراوحت بين $(110$ و 360 مغ/لتر) خلال فترة الرصد، أظهرت نتائج الدراسة تباينًا موسميًا واضحًا في تراكيز الفوسفات، إذ تراوحت بين 0 و 0.98 مغ/ل، مع تجاوز عتبة 0.1 مغ/ل خلال عدة فترات. وتُعد هذه العتبة مؤشرًا حرجيًا لبدء عمليات الإثراء الغذائي في الأنظمة المائية العذبة، الانخفاض الحاد يُحتمل أن يكون نتيجة التخفيف المرتبط بارتفاع التصريف، أو الترسيب الكيميائي للفوسفات، أو الاستهلاك البيولوجي المكثف.

أما تراكيز الأمونيوم تراوحت التراكيز بين $(0.1-0.5$ مغ/لتر)، تراوحت تراكيز النتريت بين $(0.08$ و 0.59 مغ/لتر) خلال فترة الدراسة. أظهرت جميع القيم السابقة تجاوزًا للحدود الدنيا للمواصفات القياسية السورية.

أما بالنسبة لتراكيز النترات فقد أظهرت البيانات الموسمية تقلبات واضحة تراوحت التراكيز بين 2.5 و 18.5 مغ/ل أما الانخفاض الملحوظ إما من استهلاك النترات من قبل النباتات المائية والطحالب، أو ضعف التغذية الخارجية من الأمطار، وهي لم تتجاوز حدود المواصفات القياسية السورية.

الجدول (2): يوضح قيم المتغيرات والعناصر المدروسة:

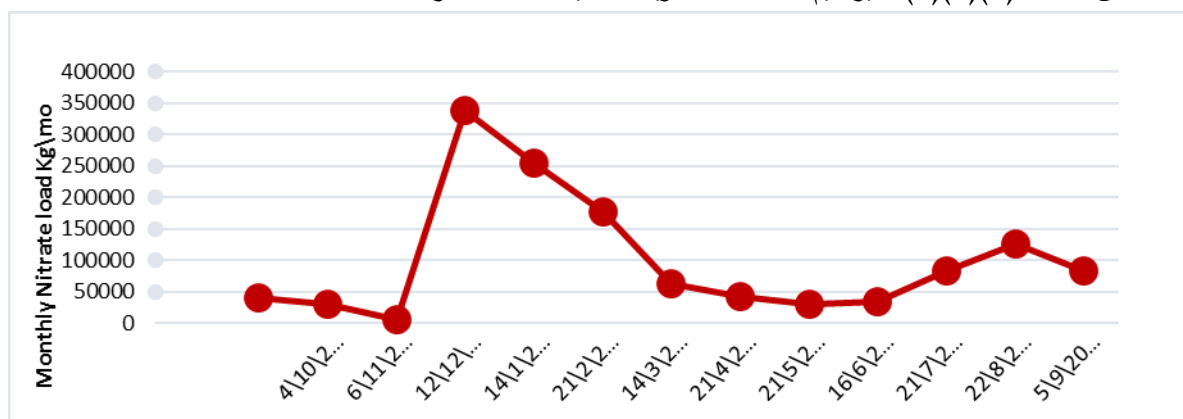
التاريخ	التدفق م ³ /ثا	تركيز النترات مغ/ل	تركيز الامونيوم مغ/ل	تركيز الفوسفات مغ/ل	الأوكسجين المنحل مغ/ل	درجة العكارة	درجة pH	Ec ميكروموس/سم	درجة الحرارة	كبريتات	النتريت	القساوة الكلية	كلورايد
5\9\2023	1.525	10.25	0.52	0.2	2.32	3.85	7.85	2042	25	355	0.12	650	84
4\10\2023	1.134	10	0.35	0.18	3.86	4.42	7.8	2050	24.5	360	0.15	700	85
6\11\2023	0.931	2.5	0.28	0.03	5.4	26	7.5	2970	20	260	0.1	2000	675
12\12\2023	6.84	18.5	0.1	0.98	6.64	10.3	7.74	2120	15	320	0.59	850	360
14\1\2024	11.86	8	0.35	0.45	7.8	10	7.86	1735	15.2	350	0.26	920	195
21\2\2024	7.63	9.5	0.15	0	8.35	27.3	7.56	1220	16.7	225	0.35	580	120
14\3\2024	4.09	5.6	0.22	0.05	8.76	17	8.15	1430	21	250	0.16	580	200
21\4\2024	3.74	4.24	0.35	0.08	5	9.44	7.72	1030	27.5	340	0.16	105	200
21\5\2024	2.64	4.2	0.1	0.07	4.46	22	7.95	1058	28	350	0.12	180	220
16\6\2024	3.01	4.42	0.2	0.1	7.5	20.5	7.98	1618	30	380	0.2	425	190
21\7\2024	3.39	9.2	0.15	0.12	6.7	7.94	7.96	1328	31.6	360	0.35	935	140
21\8\2024	3.82	12.3	0.24	0.15	5.13	5.8	7.71	1827	31.3	420	0.08	450	110
5\9\2024	3.009	10.64	0.26	0.12	6.4	6.82	7.93	1591	30.9	401	0.13	603.3	146

الأحمال الشهرية للمغذيات أظهرت النتائج وجود تباين كبير خلال فترة الدراسة، مع سيطرة واضحة لنمط النقل النبضي (Export Pulsed) المرتبط بالأحداث المطرية وفترات الجريان المرتفع. إذ تراوحت القيم بين 6013 كغ/شهر كحد أدنى في تشرين الثاني 2023 ، و 338924 كغ/شهر كحد أقصى في كانون الأول 2024، بمتوسط حسابي يقارب 100509 كغ/شهر، حيث ساهم هذا الشهر وحده بنحو 72% من إجمالي الحمل السنوي. في كانون الأول 2023 سجلت النترات أعلى تركيز (18.5 مغ/ل) مع ارتفاع التصريف إلى (6.84 م³/ثا)، مما أدى إلى حمل مرتفع للنترات نتيجة اجتماع ارتفاع التركيز وارتفاع التصريف. أما في كانون الثاني 2024، فعلى الرغم من انخفاض تركيز النترات

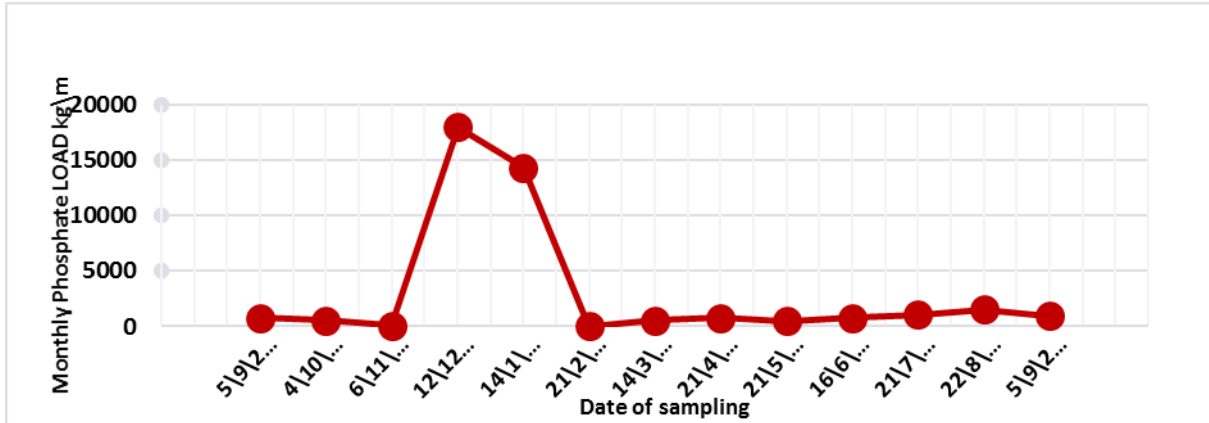
إلى (8مغ/ل)، فإن الحمل ازداد أكثر بسبب الزيادة الكبيرة في التصريف إلى (11.869م³/ثا). وهذا يبين أن الحمل يعتمد على كل من التركيز والتصريف معاً، وليس على أحدهما فقط. تتفق هذه النتائج مع تقارير هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS)، التي أكدت أن ارتفاع الجريان النهري يؤدي إلى زيادة نقل المغذيات، وأن الأحمال الشهرية للنترات تسجل القيم الأعلى في الأحواض الزراعية والحضرية خلال فترات الجريان السطحي المرتفع [30]. كما تراوحت قيم تدفق الأمونيوم بين 675 كغ/شهر في تشرين الثاني و 11118 كغ/شهر في كانون الثاني مع تسجيل الذروة في هذا الشهر، بمتوسط حسابي يقارب 2571 كغ/شهر، حيث ساهم هذا الشهر وحده نحو 37% من إجمالي الحمل الكلي، ففي أيلول 2023 كان تركيز الأمونيوم (0.52 مغ/ل) والتدفق (1.525 م³/ثا) لكن الحمل لم يكن مرتفعاً بسبب انخفاض التصريف. أما في كانون الثاني 2024 كان تركيز الأمونيوم (0.35 مغ/ل) (أقل من أيلول) والتدفق (11.869 م³/ثا) ومع ذلك كان حمل الأمونيوم أعلى نتيجة الزيادة الكبيرة في التصريف، حيث يمكن للأحداث ذات التصريف المرتفع أن تعزز نقل كميات أكبر من المغذيات حتى عند انخفاض تراكيزها، وهو ما يتوافق مع ما أشار إليه [23][31]، حول أهمية الديناميكية الهيدرولوجية في تحسين تقدير أحمال المغذيات النهرية، كما تتميز الأمونيوم بعدم استقرارها الكيميائي وسرعة تحولها إلى نترات عبر عمليات النترجة، بالإضافة إلى استهلاكها الحيوي السريع ضمن النظام المائي.

في حين تراوح حمل الفوسفات بين قيمة معدومة (0 كغ/شهر) مسجلة في شباط 2024، وقيمة عظمى بلغت 17953 كغ/شهر في كانون الأول 2023، بمتوسط حسابي يقارب 3062 كغ/شهر. ذروتا كانون الأول وكانون الثاني شكلتا معظم الحمل السنوي (ساهمتا بما يقارب 45% 43% على التوالي من إجمالي الحمل الكلي للفوسفات خلال فترة الدراسة) في كانون الأول 2023 كان تركيز الفوسفات (0.98 مغ/ل) والتدفق (6.84 م³/ثا) وبالتالي كان حمل الفوسفات مرتفعاً جداً نتيجة اجتماع ارتفاع التركيز والتدفق. أما في كانون الثاني 2024 كان تركيز الفوسفات (0.45 مغ/ل) (أقل من كانون الأول) والتدفق (11.869 م³/ثا) ومع ذلك بقي الحمل مرتفعاً بسبب زيادة التصريف. ذلك يوضح أن زيادة التصريف يمكن أن تحافظ على حمل فوسفات مرتفع أو تزيده حتى عندما ينخفض التركيز. وتتوافق هذه النتائج مع ما أشارت إليه تقارير الوكالة الأوروبية للبيئة، والتي تؤكد أن تصدير الفوسفور في المصبات الساحلية يرتبط بشكل رئيسي بزيادة تركيز المواد العالقة خلال أحداث الجريان العالي [12].

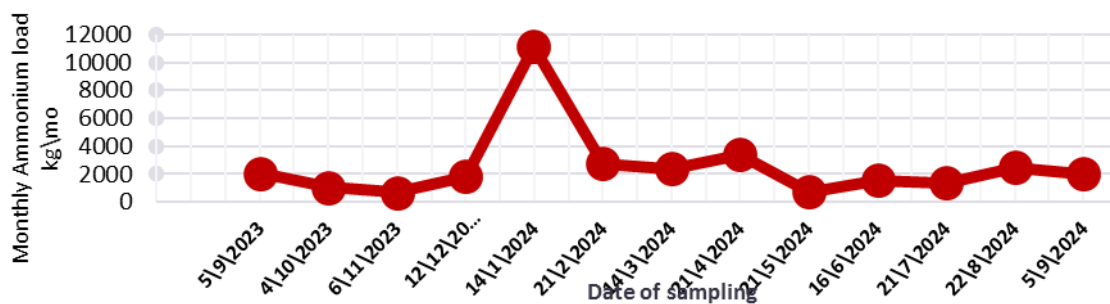
نلاحظ من الشكل (3)(4)(5) تغير قيم الأحمال الشهرية للمغذيات خلال فترة البحث:



الشكل (3): تغيرات قيم أحمال النترات خلال فترة البحث.



الشكل (4): تغيرات قيم أحمال الفوسفات خلال فترة البحث.



الشكل (5): تغيرات قيم أحمال الأمونيوم خلال فترة البحث.

وتشير هذه النتائج إلى أن التصريف النهري هو العامل الحاسم في التحكم بكمية المغذيات المنقولة نحو المصب، في حين تعكس التراكيز الحالة الكيميائية للمياه عند لحظة القياس فقط. ويظهر هذا النمط أن تصدير المغذيات لا يتم بشكل مستمر، بل يحدث عبر أحداث قصيرة المدى خلال فترات الجريان المرتفع، حيث يمكن أن يُنقل ما بين 60-80 % من الحمل السنوي خلال هذه الفترات وفق الأدبيات العالمية [35]. ويؤكد ذلك الدور الحاكم للتدفق الهيدرولوجي في التحكم بانتقال المغذيات نحو المصب لذلك يُعد الحمل مؤشراً أكثر تمثيلاً لكمية المغذيات الواصلة إلى البيئة البحرية.

تحليل المكونات الرئيسية (PCA):

تشير نتائج تحليل المكونات الرئيسية (PCA) إلى أن جودة المياه في منطقة الدراسة تخضع لتأثير خمسة عوامل رئيسية فسّرت مجتمعة حوالي 89% من التباين الكلي، وهي نسبة مرتفعة تعكس كفاءة النموذج في تمثيل البيانات.

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings	
	Total	of Variance %	% Cumulative	Total	of Variance %
1	3,888	27,772	27,772	3,888	27,772
2	3,116	22,254	50,026	3,116	22,254
3	2,488	17,773	67,799	2,488	17,773
4	1,655	11,820	79,619	1,655	11,820
5	1,300	9,284	88,902	1,300	9,284

يُظهر العامل الأول وجود ارتباط جيد مع كل من النترات (NO_3) والنترت (NO_2) والفوسفات (PO_4)، مما يشير إلى أن الإثراء الغذائي يمثل العامل المسيطر على جودة المياه في المصب. ويتوافق ذلك مع طبيعة منطقة الدراسة التي تتأثر بالجريان السطحي من الأراضي الزراعية، ولا سيما بساتين الحمضيات والبيوت البلاستيكية، إضافةً إلى احتمالية مساهمة مياه الصرف في زيادة تراكيز المغذيات، حيث تُعد هذه المركبات من أبرز مؤشرات التلوث الناتج عن الأسمدة والصرف الزراعي [2].

أما العامل الثاني فيرتبط بتركيزات الكالسيوم (Ca) والكبريتات (SO_4) والناقلية الكهربائية (EC)، مما يشير إلى تأثير الملوحة والعسرة، وهذا يعكس تأثير العمليات الجيوكيميائية الطبيعية، مثل ذوبان المعادن والصخور الغنية بالكالسيوم والكبريتات، إضافةً إلى تأثير اختلاط مياه النهر بالمياه البحرية في منطقة المصب، وهو ما يؤدي إلى زيادة تركيز الأيونات الذائبة وارتفاع الناقلية الكهربائية. كما قد تسهم مياه الري الراجعة أو الصرف الزراعي في زيادة هذه الأيونات، لذلك فمن المرجح أن هذا العامل يعكس تداخلاً بين المصادر الطبيعية والبشرية [9].

ويعكس العامل الثالث دور العوامل الفيزيائية والبيولوجية مثل الأكسجين المنحل (DO) والعكارة (Turbidity) والتدفق (Flow)، في حين ظهر الأمونيوم (NH_4) بتحميل سالب على هذا العامل. ويشير ذلك إلى أن زيادة التدفق تؤدي إلى تحسين تهوية المياه ورفع تركيز الأكسجين الذائب، مع زيادة العكارة نتيجة حمل الرواسب، ويبرز هذا العامل أهمية الديناميكية الهيدرولوجية في التحكم بعمليات النقل والتحول الكيميائي للمغذيات داخل المصب. حيث تُستخدم هذه المؤشرات على نطاق واسع لتقييم الحالة البيئية للمياه وتحديد التغيرات في جودة النظام المائي [15][21].

في حين يرتبط العامل الرابع بالتوازن الكيميائي، خاصةً من خلال درجة الـ (pH) والمغنيزيوم (Mg)، والذي يتأثر بتفاعلات نظام الكربونات وذوبان المعادن والتبادل الأيوني. وتلعب هذه العمليات دوراً مهماً في تحديد ذوبانية العناصر الغذائية وإتاحتها الحيوية، وبالتالي تؤثر بصورة غير مباشرة في جودة المياه [4].

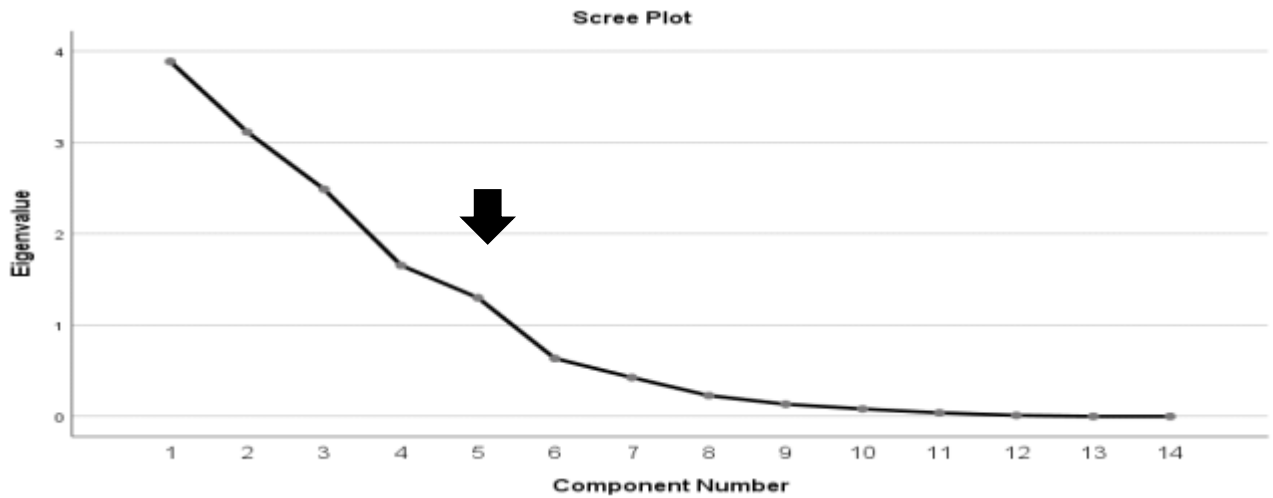
أما العامل الخامس، الذي تهيمن عليه الكلوريدات (Cl)، مما يشير إلى تأثير عمليات الاختلاط بين مياه النهر والمياه البحرية في منطقة المصب، مع احتمال مساهمة ثانوية من مياه الصرف والأنشطة البشرية القريبة، حيث تُعد الكلوريدات مؤشراً شائعاً على التلوث الناتج عن المصادر المنزلية والصناعية [36].

يوضح الجدول (4): معدل ارتباط المركبات الرئيسية بكل مؤشر من المؤشرات المدروسة:

Rotated Component Matrix^a

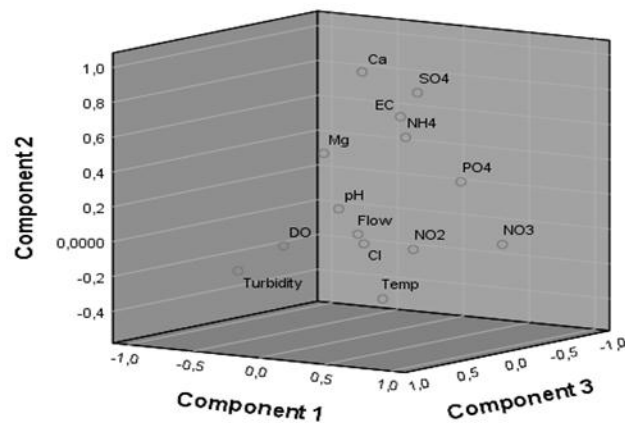
	Component				
	1	2	3	4	5
Flow	409 ⁺		640 ⁺	084 ⁺	429 ⁺
NO_3	954 ⁺	001 ⁺	108 ⁺	021 ⁺	012 ⁺
NH_4	192 ⁺	467 ⁺	664 ⁺	011 ⁺	409 ⁺
NO_2	757 ⁺	032 ⁺	541 ⁺	065 ⁺	046 ⁺
PO_4	837 ⁺	383 ⁺	160 ⁺	046 ⁺	032 ⁺
DO	024 ⁺	035 ⁺	885 ⁺	201 ⁺	081 ⁺
pH	147 ⁺	145 ⁺	087 ⁺	919 ⁺	134 ⁺
EC	078 ⁺	652 ⁺	246 ⁺	603 ⁺	303 ⁺
Turbidity	490 ⁺	173 ⁺	658 ⁺	445 ⁺	017 ⁺
Temp	265 ⁺	452 ⁺	527 ⁺	440 ⁺	453 ⁺
Ca	052 ⁺	949 ⁺	113 ⁺	031 ⁺	038 ⁺
Mg	295 ⁺	447 ⁺	039 ⁺	789 ⁺	258 ⁺
Cl	044 ⁺	041 ⁺	085 ⁺	037 ⁺	937 ⁺
SO_4	297 ⁺	821 ⁺	124 ⁺	016 ⁺	156 ⁺

كما يؤكد مخطط Scree صحة اختيار خمسة مركبات، حيث ظهرت نقطة الكسر بوضوح بعد المركب الخامس.



الشكل (6): مخطط Scree Plot

Component Plot in Rotated Space



الشكل (7): يوضح توزع المتغيرات في فضاء العوامل الأساسية.

نتائج مؤشر ردفيلد: يتضح أن جميع القيم المسجلة تجاوزت النسبة المرجعية لردفيلد (16:1)، مما يشير إلى وفرة نسبية في مركبات النيتروجين مقابل نقص شديد في الفوسفور. وبالتالي الفوسفور يُعدّ العنصر المحدد للنمو الحيوي في المياه المدروسة خلال كامل فترة القياس. كما تعكس هذه الحالة حساسية النظام المائي اتجاه أي زيادة في تراكيز الفوسفات، حيث يمكن أن يؤدي توفره إلى تحفيز سريع لظاهرة الإثراء الغذائي وازدهار العوالق النباتية. كما ارتبطت القيم المرتفعة جدًا للنسبة بانخفاض تراكيز الفوسفات الذائب، مما أدى إلى زيادة قيمة N:P وتعزيز دلالة محدودية الفوسفور خلال تلك الفترات. حيث تُظهر النتائج أن ديناميكية المغذيات في النهر تخضع لمحدودية الفوسفور وليس النيتروجين، وهو نمط شائع في الأنهار المتأثرة بالأنشطة الزراعية وتصريف مياه الصرف الصحي.

يوضح الجدول (4) نتائج ريفيلد:

التاريخ	N Total (mg/L)	P (mg/L)	N (µM)	P (µM)	N:P نسبة
5/9/2023	10.89	0.2	777.9	2.10	369,6
4/10/2023	10.50	0.18	750.0	1.89	395,8
6/11/2023	2.88	0.03	205.7	0.31	651
12/12/2023	19.19	0.98	1370.7	10.31	132.9
14/1/2024	8.61	0.45	615.0	4.73	129,8
21/2/2024	10.10	0	721.4	0	0
14/3/2024	5.98	0.05	427.1	0.52	812
21/4/2024	4.75	0.08	339.3	0.84	402
21/5/2024	4.42	0.07	315.7	0.73	428
16/6/2024	4.82	0.1	344.3	1.05	327
21/7/2024	9.70	0.12	692.9	1.26	548.6
21/8/2024	12.62	0.15	901.4	1.57	571
5/9/2024	11.03	0.12	787.9	1.26	635,3

المؤشر الكندي لجودة المياه CCME WQI:

لقد قمنا بالاعتماد في تقييم النتائج على المواصفات القياسية السورية لتقويم صلاحية المياه (2007) لأنها المرجع الوطني المعتمد لتقييم جودة المياه في سوريا.

الجدول (5): المعدلات المعمول بها في الجمهورية السورية لتقويم صلاحية المياه حسب المواصفات القياسية

السورية رقم (45) لعام 2007:

المكون	الرمز	الوحدة	الحد المسموح به حسب المواصفات القياسية السورية
الرقم الهيدروجيني	pH	-	6.5-9
الناقلية	EC	ميكروموس/سم	1500
القساوة الكلية	TH	مغ/ل	500
الكلوريدات	Cl	مغ/ل	250
الفوسفات	PO ₄	مغ/ل	0.5
القساوة الكلية	T H	مغ/ل	500
النترات	No ₃	مغ/ل	50
الأمونيوم	NH ₄	مغ/ل	0.5
الكبريتات	S ₀₄	مغ/ل	250
العكارة	Turbidity	NTU	5
النتريت	No ₂	مغ/ل	0.2
الأوكسجين المنحل	Do	مغ/ل	5 >

بتطبيق المعادلات الحسابية للمؤشر الكندي CCME على نتائج تحاليل العينات المختلفة المأخوذة من الموقع حيث

يوضح الجدول (6): قيم المؤشر الكندي خلال فترة الدراسة:

الوضع	WQI	F3	NSE	F2	F1	المنطقة
سين - قريب من الحد الأدنى	46.03	22.46	0.298	35.90	83.33	المصب

أظهرت نتائج تقييم جودة المياه باستخدام مؤشر جودة المياه الكندي (CCME WQI) أن قيمة المؤشر بلغت 46.0، يعود ذلك لتجاوز أغلب المؤشرات الحدود المسموح بها بحسب المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب مما يصنف المياه ضمن الفئة الحدية (Marginal-)، وهو ما يشير إلى تدهور ملحوظ في جودة المياه من الناحية الفيزيائية والكيميائية وتتوافق هذه النتائج مع النتائج التي توصل إليها [16] ، والتي أشارت إلى تعرض النهر الكبير الشمالي لضغوطات تلوثية أدت إلى تراجع نوعية المياه، خاصة في المناطق المتأثرة بالأنشطة البشرية والمصبات، مما يؤكد استمرار تأثير مصادر التلوث على النظام النهري.

أيضاً تتوافق هذه النتيجة مع ما وجدته [1] في نهر السيل بالعراق، حيث تراوحت قيم المؤشر بين 44.35 - 51.4 ، وصُنفت جودة المياه بين الفقيرة والهامشية، نتيجة تأثير ارتفاع بعض المتغيرات الكيميائية وخاصة المغذيات مثل النترات والنترت والفوسفات. وتشير هذه النتائج إلى أن زيادة تراكيز بعض المتغيرات الكيميائية يمكن أن تؤدي إلى انخفاض قيمة مؤشر جودة المياه حتى عند اختلاف الظروف الهيدرولوجية بين الأنظمة النهرية

تعكس القيم المرتفعة لكل من F1 (83.33%) و F2 (35.9%) انتشاراً واسعاً وتكراراً ملحوظاً لتجاوز الحدود المعيارية لعدد من المتغيرات، في حين يشير معامل F3 (22.46) إلى وجود انحرافات ذات شدة متوسطة إلى مرتفعة، خاصة في متغيرات مثل العكارة والكلوريدات والنترت. وتُظهر هذه النتائج أن التدهور في جودة المياه ليس عرضياً، بل ناتج عن ضغط بيئي مستمر ومتكرر.

وبالنظر إلى أن منطقة الدراسة تمثل مصباً مائياً مفتوحاً (Outfall system)، فإن هذا التدهور يرتبط بشكل مباشر بالمدخلات الخارجية من المغذيات، الناتجة عن الجريان السطحي الزراعي، وتصريف مياه الصرف الصحي، والأنشطة البشرية المختلفة على طول مجرى النهر.

كما تشير المعطيات إلى وجود حالة من الاثراء الغذائي الموضعي (Localized eutrophication)، حيث سُجل ارتفاع في تراكيز الفوسفات والنترت والأمونيوم، مترافقاً مع انخفاض في الأوكسجين المنحل وارتفاع في العكارة. ويؤدي هذا النمط إلى زيادة الإنتاجية الأولية (نمو الطحالب)، يعقبها استهلاك كبير للأوكسجين أثناء تحلل الكتلة الحيوية، مما يسبب اضطراباً في التوازن البيئي وتدهور جودة المياه.

بناءً على ذلك يشير التكامل بين تراكيز المغذيات ونسبة ردفيلد ونتائج PCA ومؤشر جودة المياه أن المصب لديه قابلية متزايدة للإثراء الغذائي نتيجة الضغط البيئي المستمر المرتبط بارتفاع المغذيات وتغير الخصائص الفيزيائية والكيميائية، حيث يؤدي التدفق المستمر للمغذيات إلى تدهور تدريجي في جودة المياه. وتؤكد هذه النتائج ضرورة اعتماد إجراءات إدارة فعالة تشمل الحد من مصادر التلوث، وتحسين معالجة مياه الصرف، وتعزيز برامج المراقبة الدورية، بهدف استعادة التوازن البيئي وضمان استدامة الموارد المائية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- يتسم تدفق المغذيات بنمط نبضي (Pulsed export) مرتبط بأحداث الجريان المرتفع، ويمثل التصريف النهري العامل الحاكم في نقل المغذيات إلى البحر.

• النتراات هي الشكل المسيطر ضمن الحمل الكلي للنيتروجين أما الفوسفات أقل حركة ويرتبط بالجسيمات العالقة ويتأثر بالترسيب وإعادة التعليق.

• تشير نسبة N:P إلى أن الفوسفور هو العنصر المحدد للإنتاجية الحيوية.

• يعكس مؤشر WQI تدهورًا ملحوظًا في جودة المياه.

التوصيات

• اعتماد برامج رصد دورية تعتمد على الأحمال (Load) وليس التراكيز فقط وتكثيف القياسات خلال فترات

الجريان المرتفع، واستخدام نماذج هيدرولوجية-كيميائية للتنبؤ بالأحمال المستقبلية واعتماد إدارة متكاملة لحوض النهر

• تحسين إدارة استخدام الأسمدة الزراعية والحد من الجريان السطحي بالإضافة لتطوير أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي وتعزيز التوعية البيئية حول مخاطر التلوث بالمغذيات.

References:

- [1] A. A. Al-Ziyadi and A. O. Shaawiat, "Water quality assessment of Al-Sabil River, Iraq using of CCME index," *International Journal of Aquatic Biology*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2024
- [2] A. E. Akinigbagbe, S. O. Popoola, O. O. Oyatola, et al., "Spatiotemporal patterns of water quality, nutrient dynamics and chlorophyll a concentrations in Five Cowries Creek from 2022 to 2024," *Discover Water*, vol. 5, no. 1, p. 63, 2025.
- [3] A. W. Morris, R. F. C. Mantoura, A. J. Bale, and R. J. M. Howland, "Very low salinity regions of estuaries: Important sites for chemical and biological reactions," *Nature*, vol. 274, pp. 678–680, 1978.
- [4] C. A. J. Appelo and D. Postma, *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, 2nd ed. Leiden, The Netherlands: A. A. Balkema Publishers, 2005
- [5] C. Gao, X. Chen, C. Wei, and X. Peng, "Application of entropy weight and fuzzy synthetic evaluation in urban ecological security assessment," *Chinese Journal of Applied Ecology*, vol. 17, no. 10, pp. 1923–1927, 2006.
- [6] C. Redfield, "On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton," in *James Johnstone Memorial Volume*, Liverpool, U.K., 1934, pp. 176–192.
- [7] C. Redfield, "The biological control of chemical factors in the environment," *American Scientist*, vol. 46, no. 3, pp. 205–221, 1958.
- [8] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual*. Winnipeg, MB, Canada: CCME, 2005.
- [9] D. Hammoui, H. S. Al-Aizari, I. A. Alaraidh, et al., "Seasonal variations and assessment of surface water quality using Water Quality Index (WQI) and Principal Component Analysis (PCA): A case study," *Sustainability*, vol. 16, no. 13, p. 5644, 2024.
- [10] D. L. Breitburg et al., "Declining oxygen in the global ocean and coastal waters," *Science*, vol. 359, no. 6371, Art. no. eaam7240, 2018.
- [11] D. S. McLusky and M. Elliott, *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management*, 3rd ed. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 2004.
- [12] *Nutrients in Transitional, Coastal and Marine Environment* European Environment Agency, *European Environment :Copenhagen, Denmark* Report No. 16/2022 *Waters*, EEA .2022, Agency

- [13] F. Jiang, C. Ye, F. Wang, T. Dong, J. Wei, Z. Kapelan, J. Hofman, Z. Xu, and W. Chu, "Identification, sources and accumulation behavior of priority pollutants discharged to surface water from stormwater systems," *Water Research*, vol. 287, p. 124313, 2025.
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Water Management Institute, *Water Quality in Agriculture: Risks and Risk Mitigation*. Rome, Italy: FAO, 2023.
- [15] H. F. Muniz and E. C. Oliveira-Filho, "Multivariate statistical analysis for water quality assessment: A review of research published between 2001 and 2020," *Hydrology*, vol. 10, no. 10, p. 196, 2023.
- [16] H. M. Husein, M. Beda, E. F. Ali, I. Zaghtiti, and A. Karbouj, "Hydrological Study Syrian Shamali Basin," -Kabir Al-and Monitoring of Some Pollution Indexes of Nahr Al .2017 ,95-vol. 4, no. 3, pp. 80 ,*tural ResearchJournal of Agricul*
- [17] H. W. Beusen, J. C. Doelman, L. P. H. van Beek, P. J. T. M. van Puijenbroek, J. M. Mogollón, H. J. M. van Grinsven, E. Stehfest, D. P. van Vuuren, and A. F. Bouwman, "Exploring river nitrogen and phosphorus loading and export to global coastal waters in the Shared Socio-economic Pathways," *Global Environmental Change*, vol. 72, p. 102426, 2022.
- [18] H. W. Paerl, J. T. Scott, M. J. McCarthy, S. E. Newell, W. S. Gardner, K. E. Havens, D. K. Hoffman, and S. W. Wilhelm, "It takes two to tango: When and where dual nutrient (N & P) reductions are needed to protect lakes and downstream ecosystems," *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 20, pp. 10805–10813, 2016.
- [19] J. W. Day, C. A. S. Hall, W. M. Kemp, and A. Yáñez-Arancibia, *Estuarine Ecology*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2012.
- [20] L. W. Kaul and P. N. Froelich, "Modelling estuarine nutrient geochemistry in a simple system," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, pp. 1417–1433, 1984.
- [21] R. G. Wetzel, *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2001.
- [22] R. J. Diaz and R. Rosenberg, "Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems," *Science*, vol. 321, no. 5891, pp. 926–929, 2008.
- [23] P. D. F. Isles, "A random forest approach to improve estimates of tributary nutrient loading," *Science of The Total Environment*, vol. 248, no. 1, p. 120876, 2024.
- [24] R. Khatun, "Water pollution: Causes, consequences, prevention method and role of WBPHEd with special reference from Murshidabad District," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 7, no. 8, pp. 269–270, 2017.
- [25] R. M. Madjar, G. V. Scăețeanu, and M. A. Sandu, "Nutrient water pollution from unsustainable patterns of agricultural systems: Effects and measures of integrated farming," *Scientific Reports*, vol. 16, p. 3146, 2024.
- [26] R. W. Howarth and R. Marino, "Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades," *Limnology and Oceanography*, vol. 51, no. 1, pp. 364–376, 2006.
- [27] R. W. Howarth, D. P. Swaney, G. Billen, J. Garnier, B. Hong, C. Humborg, P. Johnes, C.-M. Mörtz, and R. Marino, "Nitrogen fluxes from the landscape are controlled by net anthropogenic nitrogen inputs and by climate," *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, no. 1, pp. 37–43, 2011.
- [28] S. F. Pesce and D. A. Wunderlin, "Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River," *Water Research*, vol. 34, no. 11, pp. 2915–2926, 2000.
- [29] S. R. Carpenter, N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith, "Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen," *Ecological Applications*, vol. 8, no. 3, pp. 559–568, 1998.

- [30] U.S. Geological Survey, *Nutrients in the Nation's Streams and Groundwater (1992–2004)*, Circular 1350. Reston, VA, USA : U.S. Geological Survey, 2010.
- [31] U.S. Geological Survey, *SPARROW Modeling of Nutrient Transport in Streams and Rivers*. Reston, VA, USA: U.S. Geological Survey, 2012.
- [32] United Nations Environment Programme, *Global Environment Outlook 6 : Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2019.
- [33] World Health Organization (WHO), *Guidelines for Drinking-water Quality : Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2022.
- [34] Y. Li, J. Chen, H. Wang, and L. Zhang, "Ammonium dynamics and nitrogen transformation processes in river ecosystems under anthropogenic influence," *Water Research*, vol. 254, p. [1] 121372, 2024.
- [35] Y. Zhang, L. Ma, and X. Chen, "Storm events dominate annual nitrogen export in agricultural watersheds," *Water Research*, vol. 215, p. 118250, 2022.
- [36] Z. Nadjet, M. Abdelmonem, B. A. Badra, et al., "Multivariate analysis of groundwater quality using PCA and HAC: Geochemical controls on mineralization, nitrification, and pollutant dynamics in southeastern arid region of Algeria," *Desalination and Water Treatment*, vol. 324, p. 101463, 2025.