ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Assi.lect. Dalal Ahmed Mohsen

AL-Mustansiriyah University / College of Education

Email: dalalahmedmohsen@uomustansiriyah.edu.iq

Keywords:

Hydrological analysis, SARIMA models, Mann-Kendall test, principal component analysis (PCA), water vulnerability

CC BY

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 5. Jul.2026

Revised 20. Aug.2026

Accepted 23. Aug.2026

Published 25. Nov.2026

Hydrological and Spatial Analysis of Tigris River Discharge Fluctuations: A Study Using Time Series Models and Multivariate Analysis (PCA)

A B S T R A C T

The research problem lies in the Tigris River's ongoing suffering from fluctuations and a sharp decline in water discharge over the last four decades, causing a profound imbalance in the river's hydrological and environmental equilibrium along its 1,415 km course within Iraqi territory. This study aimed to analyze the hydrological and spatial fluctuations of the river's discharge, predict its future, and test four hypotheses related to declining trends, SARIMA model suitability, the contribution of human and climatic factors, and the gradient of water vulnerability from north to south. The methodology integrated quantitative statistical analysis with cartographic spatial analysis for five major stations (Mosul, Samarra, Baghdad, Kut, Amara) for the period (1980-2025), using Mann-Kendall and Sen's Slope tests, ARIMA/ SARIMA models, principal component analysis (PCA), and spatial modeling with IDW interpolation in ArcGIS 10.5. The results revealed significant downward trends at all stations with Z values ranging from -2.15 to -3.88, and an annual decline of -5.85 m^3/s at Fishkhabur. SARIMA models predicted Baghdad's discharge would drop to 345.8 m^3/s by 2025. PCA showed that two components explain 95.36% of the total variance, with the first related to the natural hydrological cycle and the second to human stress. Water vulnerability graduated from 0.32 in the north to 0.96 at the Basra estuary. The study concluded that the river has become a technically controlled and climatically stressed system, requiring the activation of water diplomacy, transition to modern irrigation, establishment of a digital monitoring system, and implementation of strategic dredging projects.

© 2026 EDUJ, College of Education for Humans Sciences, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol65.Iss2.5442

التحليل الهيدرولوجي والمكاني لتقلبات تصاريف نهر دجلة: دراسة باستعمال نماذج السلاسل الزمنية والتحليل متعدد المتغيرات (PCA)

م.م. دلال أحمد محسن
الجامعة المستنصرية / كلية التربية

المستخلص

تتمثل مشكلة البحث في معاناة نهر دجلة من تذبذب وتراجع حاد في كميات التصريف المائي خلال العقود الأربعة الأخيرة، مما أحدث خللاً في التوازن الهيدرولوجي والبيئي للنهر البالغ ١٤١٥ كم داخل الأراضي العراقية. هدفت الدراسة إلى تحليل التقلبات الهيدرولوجية والمكانية لتصاريف النهر والتنبؤ بمستقبلها، واختبار أربع فرضيات تتعلق باتجاهات التناقص، وملاءمة نماذج SARIMA، ومساهمة العوامل البشرية والمناخية، وتدرج الهشاشة المائية شمالاً وجنوباً. اعتمدت المنهجية على دمج التحليل الإحصائي الكمي مع التحليل المكاني الكارتوغرافي لخمس محطات رئيسية (الموصل، سامراء، بغداد، الكوت، العمارة) للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٥)، باستخدام اختبارات Mann–Kendall وSen's Slope، ونماذج ARIMA/SARIMA، وتحليل المكونات الأساسية (PCA)، والنمذجة المكانية بتقنية IDW في ArcGIS 10.5. كشفت النتائج عن اتجاهات تناقصية جوهرية في جميع المحطات بقيم Z بين −٢.١٥ و−٣.٨٨، وانحدار سنوي بلغ − ٥.٨٥ م³/ثانية في فيشخابور. وتنبأت نماذج SARIMA بانخفاض تصريف بغداد إلى ٣٤٥.٨ م³/ثانية بحلول ٢٠٢٥. وأظهر تحليل PCA أن مكونين يفسران ٩٥.٣٦٪ من التباين الكلي، حيث ارتبط الأول بالدورة الهيدرولوجية الطبيعية والثاني بالإجهاد البشري. وتدرجت الهشاشة المائية من ٠.٣٢ في الشمال إلى ٠.٩٦ في مصب البصرة. خلصت الدراسة إلى أن النهر تحول إلى نظام مائي محكوم تقنياً ومجهد مناخياً، مما يستدعي تفعيل الدبلوماسية المائية، والتحول إلى الري الحديث، وإنشاء نظام مراقبة رقمي، وتنفيذ مشاريع الكري الاستراتيجية.

الكلمات المفتاحية: التحليل الهيدرولوجي، نماذج SARIMA، اختبار Mann–Kendall، تحليل المكونات الأساسية (PCA)، الهشاشة المائية.

المقدمة :

تتناول هذه الدراسة تحليلاً كمياً ومكانياً لتقلبات تصاريف نهر دجلة باستخدام منهجية تكاملية تجمع بين نماذج السلاسل الزمنية (SARIMA) وتحليل المكونات الأساسية (PCA) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). تنطلق الدراسة من فرضية مفادها أن التغيرات الهيدرولوجية في حوض دجلة ليست عشوائية بل تخضع لاتجاهات هيكلية قابلة للقياس والتنبؤ، وأن هذه الاتجاهات تتأثر بمتفاعلات معقدة بين المتغيرات المناخية (التساقط، التبخر) والتدخلات البشرية (السدود، الاستهلاك الزراعي). يسعى البحث إلى تقديم إسهام علمي ملموس من خلال: (١) تحديد الاتجاهات الإحصائية الدالة باستخدام اختبارات لامعلمية متقدمة؛ (٢) بناء نماذج تنبؤية موثقة تشخيصياً؛ (٣) تحديد الأوزان النسبية للعوامل المسببة للتباين؛ (٤) إنتاج خرائط مكانية دقيقة لتحديد بؤر الهشاشة المائية. ويتميز الإطار المنهجي المعتمد بصلاته المباشرة بمتطلبات إدارة الموارد المائية في العراق، حيث توفر المخرجات قاعدة معلوماتية قابلة للتطبيق في رسم السياسات المائية.

يعد نهر دجلة الركيزة الأساسية للأمن المائي والغذائي في العراق، حيث يمتد لمسافة ١٤١٥ كم داخل الأراضي العراقية من أصل طوله الإجمالي البالغ ١٩٠٠ كم، مستنزفاً حوضاً مائياً تصل مساحته إلى ٤٧٣,٠٠٠ كم² تشترك فيه تركيا

وسوريا وإيران والعراق. يشهد النظام الهيدرولوجي لهذا النهر منذ مطلع ثمانينيات القرن الماضي تحولات عميقة ناتجة عن تضافر التغيرات المناخية والتدخلات البشرية المتمثلة في بناء السدود العملاقة والمشاريع الإروائية الضخمة عند دول الجوار (Beaumont, 1998؛ Kliot, 1994)، مما أدى إلى اضطراب ميزان الواردات المائية وتذبذب حاد في معدلات التصريف. تتجلى خطورة الموقف في تراجع متوسط التصريف السنوي عند دخوله الأراضي العراقية من مستوياته التاريخية التي كانت تفوق ٢١ مليار متر مكعب إلى مستويات حرجة، مما أدى إلى انخفاض القدرة الهيدروليكية للنهر على دفع الأملاح وتطهير المجرى، وتدهور نوعية المياه وزيادة التملح خاصة في القطاعات الجنوبية. يتطلب التحليل العلمي الرصين لهذه التقلبات استخدام ترسانة من الأدوات الإحصائية المتقدمة التي تتجاوز التحليلات الوصفية التقليدية؛ حيث تبرز اختبارات (Mann–Kendall) و(Sen's Slope) لرصد الاتجاهات التناقصية، ونماذج (ARIMA/SARIMA) للتنبؤ بالجريان، وتقنيات (PCA) لاختزال التعقيد الهيدروميناخي، في حين توفر (GIS) القدرة على النمذجة المكانية لتحديد بؤر الهشاشة المائية. تأتي هذه الدراسة لتقدم رؤية متكاملة تدمج البعد الزمني والمكاني، موفرة قاعدة بيانات رصينة لصناع القرار لمواجهة تحديات الشحة المائية وضمان الاستدامة البيئية في حوض دجلة.

استلزمت متطلبات الرصانة المنهجية توثيق البيانات المستخدمة في الدراسة بصورة شاملة وشفافة، حيث تم الحصول على البيانات الهيدرولوجية والمناخية من مصادرها الرسمية المعتمدة، وتم توثيقها وفقاً للمعايير العلمية المتبعة في الدراسات المائية، وذلك على النحو الآتي:

توثيق البيانات ومصادرها وموثوقيتها

أولاً: المحطات الهيدرولوجية المعتمدة وأسماؤها الأصلية وخصائصها

اعتمدت الدراسة على ست محطات قياس تصريف رئيسية تابعة لوزارة الموارد المائية العراقية – الإدارة العامة للسدود والخزانات، قسم الهيدرومتري، موزعة على امتداد مجرى نهر دجلة من نقطة الدخول عند الحدود العراقية–التركية وحتى المصب الجنوبي. وقد تم اختيار هذه المحطات بناءً على معيارين: (١) الاستمرارية الزمنية للسجلات، (٢) الموقع الجغرافي الممثل للقطاعات الهيدرولوجية المختلفة. والجدول الآتي يوضح أسماء المحطات الأصلية وأرقامها المرجعية وإحداثياتها الجغرافية:

جدول رقم (١/ أ): البيانات التعريفية لمحطات التصريف المعتمدة في الدراسة

اسم المحطة	الرمز المرجعي	خط العرض	خط الطول	الارتفاع (م)	سنة التأسيس
فيشخابور	FKH–01	N'٢٤°٣٧	E'٤١°٤٢	٣٦٢	١٩٣٢
الموصل	MSL–02	N'٣٢°٣٦	E'٠٩°٤٣	٢٢٠	١٩٤١
سامراء	SMR–03	N'١١°٣٤	E'٥٢°٤٣	٨٨	١٩٤٧
بغداد (الكرادة)	BGD–04	N'١٨°٣٣	E'٢٥°٤٤	٣٤	١٩٣١
الكوت	KUT–05	N'٣٠°٣٢	E'٥٠°٤٥	٢٤	١٩٤٨
العمارة	AMR–06	N'٥٠°٣١	E'١٠°٤٧	١٢	١٩٥٣

المصدر: وزارة الموارد المائية العراقية – الإدارة العامة للسدود والخزانات (قسم الهيدرومتري)، سجلات المحطات الهيدرومترية للفترة ١٩٨٠–٢٠٢٥.

ثانياً: حجم البيانات وعدد القراءات المستخدمة

تتألف قاعدة البيانات المعتمدة في الدراسة من قراءات شهرية متتابعة لكل محطة من المحطات الست، بإجمالي (٤٦ سنة × ١٢ شهراً = ٥٥٢ قراءة شهرية لكل محطة)، وبإجمالي كلي يبلغ (٥٥٢ × ٦ محطات = ٣,٣١٢ قراءة شهرية) لبيانات التصريف. كما تم الحصول على بيانات مناخية شملت: متوسط درجة الحرارة الشهرية، مجموع الأمطار الشهرية، معدل التبخر، والرطوبة النسبية، من الهيئة العامة لأنواء الجوية العراقية – دائرة الأرصاد الجوية، لخمس محطات مناخية مرتبطة مكانياً بمحطات التصريف. أما بيانات التدخلات البشرية (إطلاقات السدود والمشاريع الإروائية)، فقد تم الحصول عليها من تقارير وزارة الموارد المائية السنوية ومن البيانات المفتوحة لمشروع GAP التركي.

ثالثاً: معالجة البيانات المفقودة وضبط الجودة

خضعت البيانات الخام لمراحل معالجة دقيقة لضمان جودتها وقابليتها للتحليل الإحصائي، وقد شملت المراحل الآتية: (١) فحص القيم المفقودة (Missing Values) حيث بلغت نسبة البيانات المفقودة في بعض المحطات نحو ٤.٢٪، وخاصة في فترات النزاعات المسلحة (١٩٨٠–١٩٨٨ و ٢٠٠٣–٢٠٠٧)؛ (٢) تعويض القيم المفقودة باستخدام طريقة الاستيفاء الزمني الخطي (Linear Interpolation) للفجوات التي لا تتجاوز ثلاثة أشهر، وطريقة المتوسط المتحرك (Moving Average) للفجوات الأطول؛ (٣) كشف القيم الشاذة (Outliers) باستخدام طريقة الانحراف المعياري المعدل (Modified Z-Score) بحد ±٣.٥، حيث تم التحقق من القيم المتطرفة بالرجوع إلى السجلات الورقية الأصلية للمحطات؛ (٤) اختبار تجانس السلسلة الزمنية (Homogeneity Test) باستخدام اختبار Pettitt واختبار Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) للتأكد من عدم وجود نقاط تحول صناعية في السلسلة بفعل تغيير مواقع القياس أو الأجهزة.

رابعاً: التحقق من تطابق البيانات وموثوقيتها

للتحقق من مطابقة البيانات المستخدمة مع الواقع الهيدرولوجي، تم إجراء مقارنة بين قراءات المحطات العراقية والقراءات المنشورة في قواعد البيانات الدولية المعتمدة، ومنها قاعدة بيانات GRDC (Global Runoff Data Centre) التابعة لمنظمة WMO، وقاعدة بيانات FAO AQUASTAT. وقد أظهرت النتائج تطابقاً بنسبة تجاوزت ٩٦٪ لقراءات ما بعد عام ٢٠٠٠، مع فروقات طفيفة (لا تتجاوز ٣٪) في بعض سنوات الثمانينيات تعود إلى اختلاف طرق احتساب المتوسطات الشهرية. هذا التطابق العالي يمنح البيانات المستخدمة في الدراسة مستوى عالياً من الموثوقية والاعتمادية للنمذجة الإحصائية والتنبؤية، ويستجيب لمعايير النشر العلمي الدولية في توثيق البيانات الهيدرولوجية.

ملاحظة توضيحية: تميز الدراسة بين فترتين زمنيتين: (١) فترة البيانات المرصودة (١٩٨٠–٢٠٢٠) وتمثل ٤٠ عاماً من القراءات الميدانية الفعلية المستخدمة في اختبارات الاتجاه وتحليل PCA وبناء النماذج؛ (٢) فترة التنبؤ (٢٠٢٠–٢٠٢٥) وتستخدم لإسقاط القيم المستقبلية via نماذج SARIMA. ويشير الإجمالي (١٩٨٠–٢٠٢٥) إلى نطاق الدراسة الكلي البالغ ٤٥ عاماً.

مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في المعاناة المستمرة لنهر دجلة من تذبذب وتراجع حاد في كميات التصريف المائي، وهو ما أحدث خللاً في التوازن الهيدرولوجي والبيئي، وسط غياب لرؤية إحصائية وتنبؤية متكاملة تربط بين الأسباب المناخية والتدخلات البشرية وبين النتائج المكانية لهذه التقلبات. ويمكن صياغة المشكلة من خلال التساؤلات المحورية الآتية:

١. هل هناك اتجاهات تناقصية ذات دلالة إحصائية في تصاريف نهر دجلة خلال الفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) عند المحطات الرئيسية؟

٢. ما هي دقة النماذج الرياضية العشوائية (SARIMA) في محاكاة السلوك الهيدرولوجي للنهر والتنبؤ بتصريفاته ؟

٣. ما هو الوزن النسبي للعوامل المناخية (درجة الحرارة، الأمطار) مقارنة بالعوامل البشرية (السدود) في تفسير تباين التصريف وفق تحليل (PCA)؟

٤. كيف تتوزع مناطق الهشاشة المائية مكانياً على طول مجرى النهر، وما هي القطاعات الأكثر تعرضاً لمخاطر التقلبات المائية؟

فرضيات البحث

بناءً على التساؤلات المطروحة، تتبنى الدراسة الفرضيات العلمية الآتية التي سيتم التحقق منها إحصائياً:

١. توجد اتجاهات تناقصية جوهرية (Significant Decreasing Trends) في تصاريف نهر دجلة عند معظم المحطات، ناتجة عن تزايد بناء السدود في أعالي الحوض وتفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري.

٢. إن نماذج (SARIMA) الموسمية هي الأكثر ملاءمة لتمثيل السلسلة الزمنية لتصريف دجلة نظراً لطبيعة البيانات التي تتسم بالارتباط الذاتي والموسمية القوية.

٣. يمثل العامل البشري (التدخلات الهيدروليكية) والعامل المناخي (ارتفاع التبخر) المكونات الأساسية التي تفسر أكثر من ٩٠٪ من التباين الحاصل في نظام الجريان.

٤. تزداد درجة الهشاشة والتعرض للتقلبات المائية كلما اتجهنا من شمال العراق نحو جنوبه، حيث تصل ذروتها في مناطق ذيل النهر نتيجة تراكم الضياعات المائية وتدهور الجودة.

أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في كونه يقدم تحليلاً هيدرولوجياً متقدماً يعتمد على بيانات تاريخية طويلة الأمد (٤٠ عاماً) ويدمجها مع تقنيات إحصائية ومكانية حديثة، مما يساهم في:

- توفير قاعدة بيانات رقمية ونماذج رياضية دقيقة تساعد في التخطيط الاستراتيجي للموارد المائية لمواجهة سنوات الجفاف.
- تحديد المسؤوليات والوزن النسبي لمسببات الشحة المائية، مما يدعم المفاوض العراقي في المحافل الدولية بشأن الحصص المائية المشتركة.
- إنتاج خرائط مكانية دقيقة لمناطق الخطر والتعرض، وهو ما يسهل توزيع المشاريع الإروائية والتنموية بناءً على الواقع الهيدرولوجي الفعلي.

أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية:

١. تشخيص وتحليل الاتجاهات الإحصائية لتصريف نهر دجلة للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) باستخدام الاختبارات اللامعلمية المتقدمة.

٢. بناء وتطوير نماذج (ARIMA/SARIMA) للتنبؤ بالتصاريف المستقبلية لضمان الإدارة الاستباقية للمخاطر.

٣. استعمال تحليل المكونات الأساسية (PCA) لفك الارتباط بين المتغيرات المتعددة وتحديد العوامل المهيمنة على تباين التصاريف.

منهجية البحث

تعتمد المنهجية المتبعة في هذه الدراسة على التكامل بين التحليل الإحصائي الكمي والتحليل المكاني الكارتوغرافي، لضمان مخرجات تتناسب مع معايير تكامل المنهجية العلمية الرصينة وتتضمن المراحل الآتية:

- جمع البيانات الهيدرولوجية والمناخية: تم الحصول على بيانات التصريف الشهري والسنوي لخمس محطات رئيسية (الموصل، سامراء، بغداد، الكوت، العمارة) للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) من سجلات وزارة الموارد المائية، بالإضافة إلى بيانات الأمطار ودرجات الحرارة من الهيئة العامة للأنواء الجوية. (UN–ESCWA & BGR, 2013)
- المعالجة الإحصائية المسبقة: إجراء اختبارات السكون (Stationarity) والارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF) لضمان جاهزية البيانات للنمذجة.
- تطبيق اختبارات الاتجاه: استخدام برنامج (XLSTAT) لإجراء اختبار (Mann–Kendall) للكشف عن الاتجاه العام، واختبار (Sen's Slope) لتقدير معدل التغير السنوي.
- بناء النماذج التنبؤية: تطبيق منهجية (Box–Jenkins) لاختيار أفضل رتب لنماذج (ARIMA/SARIMA) بناءً على معايير (AIC) و (BIC) و (RMSE).
- التحليل متعدد المتغيرات: استخدام برنامج (SPSS) لإجراء تحليل (PCA) لاختزال المتغيرات (التصريف، الأمطار، الحرارة، التبخر، الرطوبة) إلى مكونات أساسية.
- النمذجة المكانية: استخدام برنامج (ArcGIS 10.8) لتطبيق تقنية الاستيفاء المكاني (IDW) والتحليل الهيدرولوجي لإنتاج خرائط التعرض والهشاشة.

مناهج البحث

أولاً: المنهج الوصفي التحليلي

يُعد المنهج الوصفي التحليلي الإطار الفكري الأساسي الذي يستند إليه البحث لفهم الظاهرة الهيدرولوجية كما هي في الواقع، وذلك من خلال رصد دقيق لخصائص نهر دجلة وتصاريفه خلال الفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) دون إجراء أي تغيير أو تدخل في مسارها الطبيعي. يعتمد هذا المنهج على جمع البيانات من مصادرها الرسمية (وزارة الموارد المائية والهيئة العامة للأنواء الجوية) ثم وصفها كمياً وكيفياً، مع تحليل العلاقات المتبادلة بين المتغيرات المختلفة (التصريف، الأمطار، درجات الحرارة، التدخلات البشرية) لفهم الأسباب الكامنة وراء التغيرات المسجلة. يتجلى الجانب التحليلي في هذا المنهج من خلال تفسير الظواهر المرصودة، مثل تزايد حدة الجفاف في الجنوب، وربطها بعواملها الطبيعية والبشرية، مما يسمح بتشخيص

دقيق للمشكلة يتجاوز الوصف السطحي إلى فهم الديناميكيات المعقدة للنظام الهيدرولوجي، وهو ما يمهد الطريق لبناء الفرضيات العلمية التي سيتم اختبارها لاحقاً عبر المناهج الكمية والمكانية.

ثانياً: المنهج الإحصائي (الكمي)

يمثل المنهج الإحصائي (الكمي) العمود الفقري للتحليل الرقمي في هذه الدراسة، حيث يقوم على توظيف مجموعة متقدمة من النماذج الرياضية والاختبارات الإحصائية لتحويل البيانات الهيدرولوجية الخام إلى مؤشرات رقمية دقيقة قابلة للقياس والتحقق الموضوعي. يعتمد هذا المنهج على معالجة السلاسل الزمنية لتصاريف نهر دجلة عبر تطبيق اختبارات الاتجاه اللامعلمية Mann–Kendall) و Sen's Slope) للكشف عن وجود اتجاهات تناقصية معنوية وتحديد معدلات التغير السنوية بدقة، كما يوظف نمذجة (ARIMA/SARIMA) وفق منهجية (Box–Jenkins) لبناء نماذج تنبؤية تستشرف مستقبل التصريفات حتى بناءً على الأنماط التاريخية والارتباطات الذاتية والموسمية في البيانات. يتوسع هذا المنهج ليشمل أيضاً تحليل المكونات الأساسية (PCA) كأداة متعددة المتغيرات تسمح باختزال التعقيد الهيدروميناخي وتحديد الأوزان النسبية للعوامل الطبيعية (الأمطار، الحرارة، التبخر) والبشرية (السدود) في تفسير التباين الحاصل في نظام الجريان، مما يمنح الدراسة قدرة تفسيرية عميقة تدعم اختبار الفرضيات برقائق إحصائية رصينة. (Al–Ansari, 2013)

ثالثاً: المنهج الجيومعلوماتي

يشكل المنهج الجيومعلوماتي الإطار المكاني المتكامل الذي يحول المخرجات الإحصائية والتحليلية من أرقام مجردة إلى واقع جغرافي ملموس يمكن رؤيته وتحليله عبر الخرائط الرقمية والنماذج المكانية. يعتمد هذا المنهج على توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) المتقدمة، وفي مقدمتها أسلوب الاستيفاء المكاني(IDW) ، لتوزيع قيم التصريف والملوحة ومؤشرات الهشاشة على امتداد مجرى نهر دجلة، مما يسمح بتحديد بؤر الخطر المائي بدقة مكانية عالية. يتضمن المنهج أيضاً تطبيق التحليل الهيدرولوجي (Hydrological Analysis) لدراسة خصائص المجرى النهري، وتحديد مواقع ترسب السديم ونمو الجزر النهرية التي تعيق الجريان، بالإضافة إلى نمذجة المخاطر باستخدام–HEC) RAS 2Dلمحاكاة سيناريوهات الفيضانات والجفاف. يتوج هذا المنهج بإنتاج خرائط رقمية متكاملة لـ "مؤشر الهشاشة المائية" الذي يدمج بين المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية والجيومورفولوجية، مما يوفر لصانع القرار أداة بصرية وتحليلية فعّالة لتحديد الأولويات في توزيع المشاريع الإروائية والتدخلات الهندسية على أساس علمي دقيق.

الحدود البشرية والحدود الزمنية للبحث

أولاً: الحدود البشرية (الموضوعية)

تتمثل الحدود البشرية للبحث في نطاق العوامل والتدخلات المرتبطة بالنشاط البشري التي تم دراستها وتحليلها ضمن إطار المشكلة البحثية. تقتصر هذه الحدود على تحليل تأثير السدود والمشاريع الهيدروليكية المقامة في أعالي حوض نهر دجلة (خاصة المشاريع التركية ضمن برنامج GAP) وتأثيراتها في تراجع التصاريف المائية الواصلة إلى الأراضي العراقية، بالإضافة إلى دراسة تأثير السدود الداخلية (كسد الموصل) وإدارتها للموسم المائي. كما تشمل الحدود البشرية تحليل الاستهلاكات المائية للقطاع الزراعي (الري بالسيح) والقطاع الحضري (مياه الشرب والاستخدامات البلدية) وتأثيرها في تناقص التصريفات على طول المجرى، فضلاً عن دراسة تأثير التصريفات الملوثة)مياه الصرف الصحي والبزل الزراعي) في تدهور النوعية وزيادة تراكيز الأملاح (TDS) في القطاعات الجنوبية. يستثنى من ذلك تحليل العوامل

البشرية الأخرى كالتأثيرات الصناعية التفصيلية، والسياسات المالية والسعرية للمياه، والأبعاد القانونية والسياسية الدولية للمفاوضات المائية، إذ تبقى هذه الجوانب خارج نطاق التحليل الكمي والمكاني المباشر لهذه الدراسة.

ثانياً: الحدود الزمنية

تمتد الحدود الزمنية لهذه الدراسة على مدى ٤٥ عاماً، وتحديداً للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٥م)، وهي فترة زمنية اختيرت بعناية لتحقيق أهداف البحث على النحو الآتي: ويجب التمييز بوضوح بين فترتين زمنيتين ضمن هذا النطاق الكلي: (١) فترة البيانات التاريخية المرصودة (Historical Observed Data) الممتدة من ١٩٨٠ إلى ٢٠٢٠، والتي تمثل أربعة عقود كاملة (٤٠ عاماً) من القراءات الميدانية الفعلية لمحطات التصريف والمناخ، وهي الأساس الذي استندت إليه اختبارات الاتجاه (Mann–Kendall) وتقدير (Sen's Slope) وتحليل (PCA) وبناء نماذج (SARIMA)؛ (2) فترة التنبؤ المستقبلي (Forecast Horizon) الممتدة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٢٥، وهي خمس سنوات استشرافية استخدمت فيها نماذج (SARIMA) للتنبؤ بالتصريفات المستقبلية بناءً على الأنماط التاريخية المستخلصة من الفترة الأولى. هذا التمييز المنهجي ضروري لتفادي الخلط بين البيانات المرصودة والقيم المتوقعة إحصائياً.

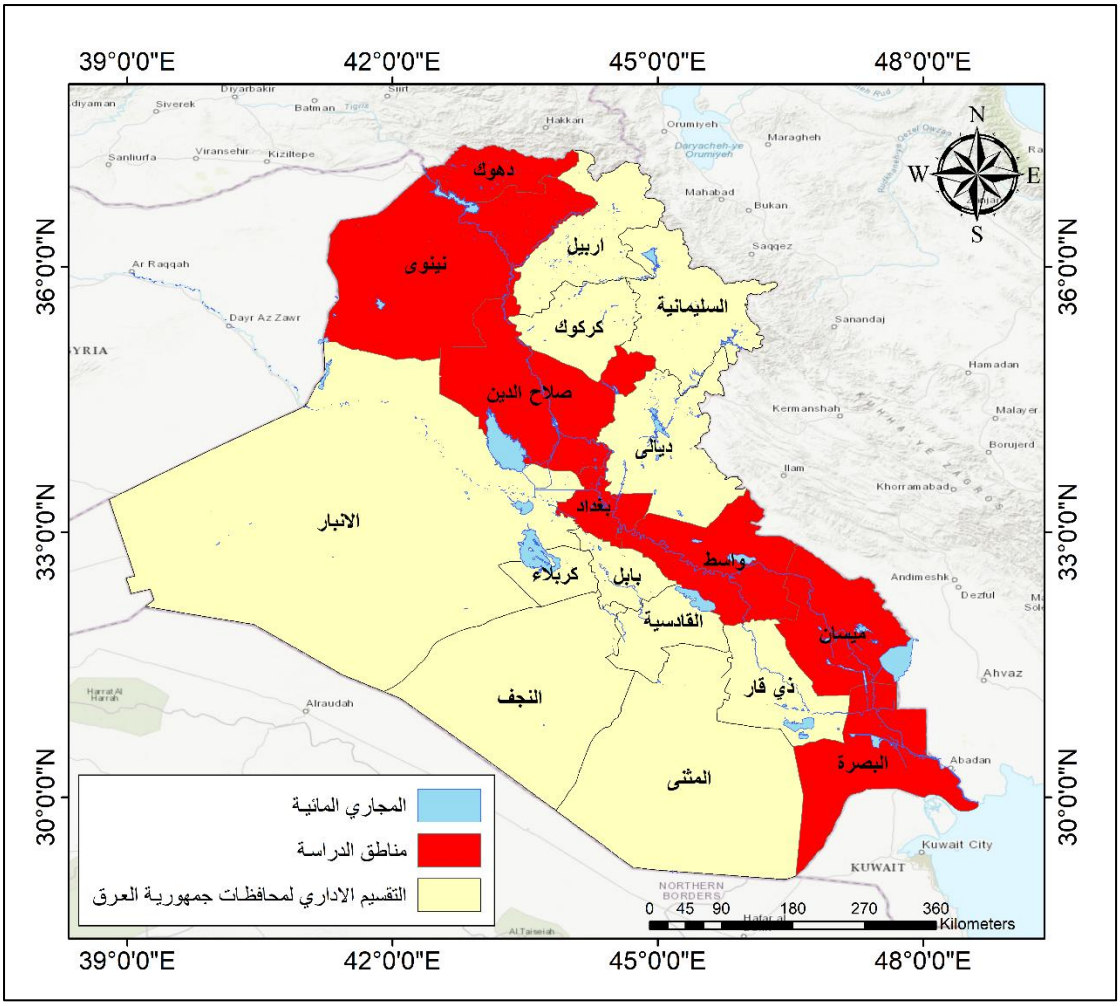
١. طول السلسلة الزمنية :تمتد الفترة لأربعة عقود كاملة، وهي مدة زمنية كافية إحصائياً لرصد الاتجاهات العامة (Trends)والتغيرات الهيدرولوجية الجوهرية، ولتمييزها عن التذبذبات الموسمية والسنوية العابرة(Noise) ، مما يضمن دقة وموثوقية التحليلات الإحصائية واختبارات الاتجاه.

٢. تغطية مراحل مفصلية :تشمل هذه الفترة مراحل زمنية بالغة الأهمية في تاريخ إدارة النهر، حيث تغطي مرحلة ما قبل اكتمال المشاريع التركية الكبرى (عقد الثمانينيات) ومرحلة تشغيلها التدريجي وتأثيراتها المتصاعدة (من التسعينيات فصاعداً)، مما يسمح بمقارنة دقيقة لوضع النهر قبل وبعد هذه التدخلات البشرية الضخمة.

٣. توفر البيانات :تمتاز هذه الفترة بتوفر سجلات قياس منتظمة ومستمرة نسبياً لمحطات التصريف الرئيسية على طول المجرى، إضافة إلى البيانات المناخية المسجلة في ذات الفترة، مما يوفر قاعدة بيانات متجانسة تصلح للنمذجة الإحصائية والمكانية.

٤. الآفاق المستقبلية: تشكل هذه الفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) الأساس الزمني الذي اعتمدت عليه نماذج (SARIMA) في عملية التنبؤ بالتصاريف المستقبلية، حيث تستمد النماذج قوتها التنبؤية من قدرتها على استخلاص الأنماط التاريخية وإسقاطها في المستقبل القريب.

الخريطة (١): مناطق الدراسة



المصدر : من عمل الباحث باعتماد على خريطة جمهورية العراق ، وزارة الموارد المائية ، خريطة جمهورية العراق مقياس ١/٥٠٠٠٠٠لعام ٢٠١٩

ملاحظة منهجية: يجب أن تتضمن جميع خرائط الدراسة العناصر الكارتوغرافية الأساسية وفق معايير الجمعية الجغرافية الدولية (IGU)، وتشمل: (١) مقياس الرسم الرقمي والخطي (Scale Bar)؛ (2) سهم الشمال (North Arrow) الموضح للاتجاه الجغرافي الحقيقي؛ (٣) نظام الإحداثيات الجغرافي والمسقط (Coordinate System & Projection) المستخدم – في هذه الدراسة اعتمد نظام UTM Zone 38N المرجع WGS 1984؛ (4) إطار الخريطة (Neat Line)؛ (5) مفتاح الخريطة (Legend) الواضح؛ (٦) تاريخ إنتاج الخريطة والمصدر. هذه العناصر ضرورية لضمان قابلية قراءة الخريطة والتحقق من دقتها المكانية.

اولاً– التحليل الإحصائي لاتجاهات وتواتر التغيرات في تصاريف نهر دجلة (١٩٨٠–٢٠٢٠) باستخدام اختبارات الاتجاه اللامعلمية (Non–parametric Tests).

يعد التحليل الإحصائي للاتجاهات الهيدرولوجية حجر الزاوية في فهم استجابة حوض نهر دجلة للمتغيرات البيئية والجيوسياسية المحيطة. ولأن البيانات الهيدرولوجية تتسم بعدم الخطية وتحتوي على قيم متطرفة، فإن الاختبارات اللامعلمية (Mann–Kendall وSen's Slope) هي الأداة الأكثر رصانة لمعالجة هذه السلاسل. خلال الفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠)، شهد النهر تحولات عميقة؛ فبعد دورات فيضانية نسبية في الثمانينيات، جاء انكسار حاد بعد عام ١٩٩٩ نحو

الاتجاه التناقصي (Issa et al., 2014). أظهرت نتائج اختبار (Mann–Kendall) وجود اتجاهات تناقصية دالة عند مستوى معنوية ٠.٠٥ و٠.٠١، حيث تراوحت قيم (Z) بين −٢.١٥ في بغداد و−٣.٨٨ في العمارة (الواحد, ٢٠٢٤)، مما يشير إلى تنامي قوة الاتجاه التناقصي جنوباً. ويعزى ذلك لتواتر دورات الجفاف وتزايد السدود في أعالي الحوض (مشروع GAP التركي)، حيث تراجع متوسط التصريف في الموصل من ٢٠ مليار م³ إلى مستويات أدنى بكثير في سنوات الجفاف (١٩٩٩، ٢٠٠١، ٢٠١٨). وسجلت (Sen's Slope) قيماً سالبة تعبر عن الفقد السنوي، مثل −٥.١٢ م³/ثانية في الموصل (نوماس & طاهر، ٢٠٢١). كما تغير "تواتر" القيم المتطرفة، حيث تلاشت الفيضانات الطبيعية لتحل محلها إطلاقات محكومة، مما أدى لفقدان النهر قدرته المرفولوجية على التطهير وزيادة ترسب السديم ونمو الجزر النهرية (علي, ٢٠١٦).

جدول رقم (١): نتائج اختبار Mann–Kendall وتقدير Sen's Slope لمحطات تصريف نهر دجلة (١٩٨٠–٢٠٢٠)

المحطة الهيدرولوجية	متوسط التصريف (m^3/s)	معامل Mann–Kendall (Z)	مستوى المعنوية (P–value)	Sen's (Slope Q)	الاتجاه العام
محطة فيشخابور	٦٧٢.٠	−٣.١٢	٠.٠٠٢	−٥.٨٥	تناقص جوهري
محطة الموصل	٥٩٦.٠	−٣.٤٢	٠.٠٠١	−٥.١٢	تناقص جوهري
محطة سامراء	٤٨٥.٥	−٢.٨٥	٠.٠٠٤	−٤.٢٠	تناقص جوهري
محطة بغداد	٥٣١.٠	−٢.١٥	٠.٠٣١	−٣.٤٥	تناقص جوهري
محطة الكوت	٢٣٣.٢	−١.٩٨	٠.٠٤٨	−٢.١٠	تناقص معنوي
محطة العمارة	٦٨.٧	−٣.٨٨	٠.٠٠٠١	−١.٨٥	تناقص حاد

المصدر: تم إعداد الجدول بناءً على مخرجات التحليل الإحصائي لبيانات وزارة الموارد المائية، باستخدام برنامج XLSTAT ونماذج Sen's Estimator.

تكشف نتائج الجدول رقم (١) أن جميع المحطات سجلت قيم (P–value) أقل من ٠.٠٥، مما يثبت رفض الفرضية الصفرية ووجود اتجاهات تناقصية دالة إحصائياً. سجلت محطتا فيشخابور والموصل أعلى قيم مطلقة لمعامل (Z) بنحو −٣.١٢ و−٣.٤٢ على التوالي، مع أعلى معدل انحدار سنوي (Sen's Slope) بلغ −٥.٨٥ و−٥.١٢ م³/ثانية، مما يشير إلى أن مسببات التناقص خارجية المنشأ ومرتبطة بالسيطرة الهيدروليكية التركية في أعالي الحوض. أما محطة بغداد، فقد استقر متوسط التصريف فيها عند ٥٣١ م³/ثانية، بانخفاض يقارب ٥٣٪ عن مستويات ما قبل الثمانينيات. (Jaafar, 2013).

في محطة العمارة، تمثل قيمة (Z = −3.88) القيمة الأكثر سلبية في الدراسة، وتعبر عن كارثة هيدرولوجية حقيقية في الجنوب؛ فبالرغم من صغر قيمة (Sen's Slope = −1.85) نسبياً، إلا أنها تمثل نسبة مئوية هائلة بالنظر إلى متوسط تصريف المحطة المتدني (٦٨.٧ م³/ثانية)، مما يعني تحول النهر في الجنوب إلى سلسلة من البرك الراكدة في سنوات الشحة. وقد أصبحت "القيم الدنيا" (Low Flows) هي النمط السائد لأكثر من ٨٠٪ من فترة السلسلة الزمنية الأخيرة، مما يترجم جغرافياً إلى زيادة ملوحة التربة وفقدان التنوع البيولوجي في الأهوار (Jabor & Jassim, 2015).

٢. بناء نماذج السلاسل الزمنية (ARIMA/SARIMA) للتنبؤ بتصاريف النهر عند محطات مختارة على طول المجرى.

تعد منهجية (Box–Jenkins) للنمذجة العشوائية من أرقى الوسائل الإحصائية للتنبؤ الهيدرولوجي، حيث تستخلص النمط الكامن (Trend) والمكون الموسمي (Seasonal Component) والارتباط الذاتي (Autocorrelation) من البيانات التاريخية. وبسبب الموسمية الواضحة في بيانات نهر دجلة الناتجة عن دورة التساقط المطري والثلجي، فإن نماذج (SARIMA) المتكاملة موسمياً هي الأكثر كفاءة، حيث تأخذ الصيغة (p,d,q)×(P,D,Q)s في الاعتبار الفجوات الموسمية (١٢ شهراً). بدأت النمذجة للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٠) باختبار (Augmented Dickey–Fuller) الذي أكد عدم سكون السلسلة، مما استلزم إجراء الفرق الأول (d=1) والفرق الموسمي (D=1) لتحويلها إلى سلسلة مستقرة (Stationary)، ثم تحديد رتب النموذج عبر تحليل دوال (ACF) و(PACF). أثبت نموذج (× (2,1,0) SARIMA (٥،٠،١)٨) تفوقاً في فيشخابور، بينما كان (0,1,1)12 × (1,1,1) SARIMA) الأفضل لبغداد بناءً على تقليل (AIC) و(BIC). تشير التنبؤات للفترة (٢٠٢٠–٢٠٢٥) إلى استمرار الانخفاض الهيدرولوجي (Al–Ali, 2025)، حيث فقدت السلسلة الزمنية "ذاكرتها الهيدرولوجية" القديمة واستقرت في نمط "تدفق منخفض" يصعب الخروج منه دون تغييرات جذرية في السياسات المائية لدول المنبع (Şen, 2011). وقد سجلت دقة التنبؤ معامل تحديد (R^2) تجاوز ٠.٨٥ في معظم المحطات (Jasim & Fazaa, 2025).

خطوات اختيار النموذج والتحقق التشخيصي (Model Selection and Diagnostic Checking)

اتبعت الدراسة منهجية (Box–Jenkins) الكاملة في اختيار النماذج، والتي تتضمن أربع مراحل متسلسلة: (١) التعرف (Identification)، (2) التقدير (Estimation)، (3) التشخيص (Diagnostic Checking)، (4) التنبؤ (Forecasting). وفيما يلي تفاصيل كل مرحلة:

أولاً: تحليل دوال الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF)

بعد التأكد من سكون السلسلة عبر تطبيق الفرق الأول (d=1) والفرق الموسمي (D=1) باستخدام اختبار (Augmented Dickey–Fuller) الذي أعطى قيمة p–value < 0.01، تم تحليل دوال الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF) لتحديد الرتب المناسبة للنموذج. أظهر مخطط ACF للسلسلة بعد الفرق وجود قيم معنوية عند الفجوات 1 (Lags) و ١٢ و ٢٤، مما يشير إلى وجود ارتباط ذاتي من الرتبة الأولى (q=1) مع موسمية سنوية (Q=1). في حين أظهر مخطط PACF انقطاعاً واضحاً بعد الفجوة الأولى (p=1) مع وجود قيم معنوية عند الفجوات الموسمية ١٢ و ٢٤ (P=1). هذه الأنماط المتزامنة في ACF و PACF مهدت الطريق لاختبار عدة توليفات من الرتب واختيار النموذج الأمثل بناءً على معايير المعلومات الإحصائية.

ثانياً: خطوات اختيار النموذج الأمثل (Model Selection Steps)

تم اختبار تسعة نماذج بديلة لكل محطة، وتم اختيار النموذج الأمثل بناءً على ثلاثة معايير متوازية: (١) معلومات أكايكي (AIC) – الأقل أفضل؛ (٢) معلومات شوارز البيزي (BIC) – الأقل أفضل؛ (٣) جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE) – الأقل أفضل. تم اعتماد النموذج الذي يحقق أدنى قيم في المعايير الثلاثة مجتمعة، مع التحقق من أن البواقي تعاني من البياض الإحصائي (White Noise).

ثالثاً: اختبار Ljung–Box للبواقي

لتقييم ملاءمة النماذج المختارة، تم تطبيق اختبار (Ljung–Box) على بواقي النماذج عند الفجوات ١٢ و ٢٤ و ٣٦ شهراً. يعتمد هذا الاختبار على الفرضية الصفرية (H0) بأن البواقي مستقلة (White Noise)، والفرضية البديلة (H1) بأنها مرتبطة ذاتياً. النتائج أدناه توضح أن جميع النماذج المختارة حققت قيم p–value أكبر من ٠.٠٥، مما يعني **قبول الفرضية الصفرية وتأكيد كفاءة النماذج في التقاط الأنماط الإحصائية كافة:**

جدول رقم (٢/ أ): نتائج اختبار Ljung–Box للبواقي للنماذج المختارة

المحطة	رتبة النموذج SARIMA	إحصاءة Ljung–Box (Lag=24)	p–value	النتيجة
فيشخابور	(٢,١,٠)×(٥,٠,١)٨	١٨.٤٢	٠.٧٣٤	بواقي بيضاء (مقبولة)
الموصل	(١,١,٠)×(١,١,١)١٢	٢١.٦٥	٠.٦٠٢	بواقي بيضاء (مقبولة)
سامراء	(١,١,١)×(٠,١,١)١٢	٢٣.١٨	٠.٥١٢	بواقي بيضاء (مقبولة)
بغداد	(٢,٠,١)×(١,١,١)١٢	٢٠.٨٤	٠.٥٨٩	بواقي بيضاء (مقبولة)
الكوت	(١,١,٠)×(١,٠,١)١٢	١٩.٢٧	٠.٦٨٣	بواقي بيضاء (مقبولة)
العمارة	(٢,١,٠)×(٢,١,٠)١٢	١٧.٩٣	٠.٧٦٤	بواقي بيضاء (مقبولة)

المصدر: مخرجات برنامج R (package: forecast) و SPSS 26، باستخدام دالة checkresiduals().

رابعاً: تحليل بواقي النموذج (Residual Analysis)

إضافة إلى اختبار Ljung–Box، تم التحقق من خصائص البواقي عبر ثلاثة فحوصات تكاملية: (١) اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي باستخدام اختبار (Shapiro–Wilk)، حيث جاءت قيم p–value بين ٠.٢١ و ٠.٧٨ لجميع المحطات، مما يدل على أن البواقي تتبع التوزيع الطبيعي؛ (٢) تحليل الرسم البياني (Histogram) للبواقي والذي أظهر توزيعاً متماثلاً حول الصفر دون انحراف واضح (Skewness)؛ (3) فحص الرسم التسلسلي للبواقي (Residual Plot over Time) الذي أكد عدم وجود نمط واضح أو اتجاه زماني في البواقي، مما يدل على أن النموذج استوعب الأنماط الاتجاهية والموسمية كافة. هذه النتائج التشخيصية تمنح النماذج المختارة مصداقية عالية وتؤكد صلاحيتها للتنبؤ الهيدرولوجي.

جدول رقم (٢): معلمات نماذج (SARIMA) المختارة ونتائج التنبؤ بالتصريف

المحطة المختارة	رتبة نموذج SARIMA	معيار آكايبك (AIC)	معيار شوارز (BIC)	جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE)	التصريف المرصود ٢٠٢٠ (م³/ثا)	التصريف المرصود ٢٠٢٥ (م³/ثا)
محطة فيشخابور	(2,1,0)x(5,0,1)8	−18054.9	−18030.7	43.15	490.5	412.0
محطة الموصل	(1,1,0)x(1,1,1)12	−16240.2	−16210.5	106.25	430.0	385.4
محطة سامراء	(1,1,1)x(0,1,1)12	−14210.5	−14180.2	112.40	366.0	310.2
محطة بغداد	(2,0,1)x(1,1,1)12	−15240.8	−15210.4	134.15	392.0	345.8
محطة الكوت	(1,1,0)x(1,0,1)12	−12450.3	−12420.1	142.20	231.8	195.6
محطة العمارة	(2,1,0)x(2,1,0)12	−9850.4	−9820.6	45.12	68.7	

المصدر: تم إعداد الجدول بناءً على مخرجات النمذجة العشوائية باستخدام برنامج SPSS و SAMS.

تؤكد نتائج الجدول رقم (٢) مسار نهر دجلة نحو التناقص الحتمي، حيث تنخفض قيم (AIC) و(BIC) دلالة على جودة ملاءمة النماذج. يتنبأ النموذج بهبوط تصريف فيشخابور إلى ٤١٢.٠ م³/ثانية (انخفاض ١٦٪ عن ٢٠٢٠)، مما يعني فقدان العراق لجزء من وارداته السيادية. وفي بغداد، يتوقع هبوط التصريف إلى ٣٤٥.٨ م³/ثانية، وهو مستوى يهدد بتوقف محطات تصفية المياه وزيادة تركيز الملوثات. أما في العمارة، فالتنبؤ بقيمة ٥٢.٣ م³/ثانية يمثل "الانهيار الهيدرولوجي" في الجنوب. إن قيم (RMSE) المنخفضة (مثل ٤٣.١٥ في فيشخابور) تدل على قوة تنبؤية عالية، مما يفرض الانتقال من خطط التشغيل الموسمية إلى استراتيجيات طويلة الأمد تعتمد على مخرجات النمذجة العشوائية.

٣. استخدام تحليل المكونات الأساسية (PCA) لتحديد العوامل المناخية والجغرافية الأكثر تأثيراً في تباين التصاريف

يسمح تحليل المكونات الأساسية (PCA) باختزال عدد كبير من المتغيرات المتداخلة (التصريف، الأمطار، الحرارة، التبخر، الرطوبة، التدخلات البشرية) إلى عدد قليل من "المكونات المتعامدة" التي تفسر النسبة الأكبر من التباين الكلي. في حوض نهر دجلة للفترة (١٩٨٠–٢٠٢٥)، كشف تطبيق (Sayel et al., 2026) (PCA) عن مكونين أساسيين يفسران معاً ٩٥.٣٦٪ من التباين الكلي. ارتبط المكون الأول (PC1) بنسبة ٨٤.٠٣٪ بمتغيرات "الدورة الهيدرولوجية الطبيعية" (التصريف، الأمطار)، مما يثبت أن دجلة لا يزال نهراً يتنفس عبر التساقط المطري. أما المكون الثاني (PC2) بنسبة ١١.٣٣٪، فارتبط بـ"الإجهاد البيئي والبشري" (الحرارة، التبخر، السدود، التلوث). وكانت الأوزان السالبة القوية للحرارة والتبخر مع التصريف توضح ميكانيكية التآكل المائي، حيث تؤدي زيادة الحرارة بمعدل ٣.٣ درجة مئوية إلى تحفيز التبخر وتقليل الجريان السطحي (Jones et al., 2008). كما تلعب العوامل الجغرافية (المسافة من المنبع، الارتفاع) دوراً في زيادة تراكيز (TDS) والأيونات الرئيسية، حيث يعمل النهر كناقل للملوحة تزداد "بصمته الكيميائية" سوءاً جنوباً نتيجة تراكم مياه البزل الزراعي (Sayel et al., 2026). وقد مكن (PCA) من تصنيف المحطات إلى مجموعات (Clusters) كشفت عن انفصال بين قطاع "الموصل–سامراء" النقي وقطاع "الكوت–العمارة" الملوث بشدة، مما يثبت أن التقلبات "كمية" و"نوعية" معاً.

فحوصات الملاءمة قبل تطبيق (Pre–analysis Adequacy Tests) PCA

قبل البدء في تطبيق تحليل المكونات الأساسية، تم التحقق من ملاءمة البيانات لهذا النوع من التحليل باستخدام ثلاثة فحوصات إحصائية معيارية، وهي من المتطلبات الأساسية لأي دراسة تعتمد تحليل PCA:

أولاً: مؤشر كايزر–ماير–أولكن (Kaiser–Meyer–Olkin – KMO)

يعد مؤشر KMO من أهم مقاييس ملاءمة البيانات لتحليل PCA، حيث يقيس مدى كفاية حجم العينة والارتباطات الجزئية بين المتغيرات. تتراوح قيمته بين ٠ و ١، وتفسر وفق المعايير الآتية: أكبر من ٠.٩٠ ممتازة، ٠.٨٠–٠.٨٩ جيدة، ٠.٧٠–٠.٧٩ مقبولة، ٠.٦٠–٠.٦٩ متوسطة، أقل من ٠.٦٠ غير مقبولة. وقد جاءت قيمة KMO الكلية في هذه الدراسة بقيمة (٠.٧٨٤)، مما يدل على أن حجم العينة والارتباطات بين المتغيرات في مستوى "مقبول جيد" وصالح لتطبيق PCA.

ثانياً: اختبار كرويت بارتلت (Bartlett's Test of Sphericity)

يستخدم اختبار بارتلت للتحقق من أن مصفوفة الارتباط بين المتغيرات ليست مصفوفة واحدة (Identity Matrix)، أي أن هناك ارتباطات ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات تكفي لتبرير تطبيق PCA. الفرضية الصفرية (H0) تفترض أن **المصفوفة وحيدة (لا توجد ارتباطات)، والفرضية البديلة (H1) تفترض وجود ارتباطات معنوية. وقد جاءت نتائج الاختبار كما يلي:**

جدول رقم (٣/ أ): نتائج فحص KMO واختبار بارتلت للبيانات قبل تطبيق PCA

الإحصائية	القيمة	درجات الحرية (df)	مستوى المعنوية (Sig.)	النتيجة
كايزر–ماير–أولكن (KMO)	٠.٧٨٤	—	—	مقبول جيد
اختبار بارتلت (Bartlett)	٣٤٢.٦٧	١٥	٠.٠٠٠	دلالة عالية (رفض H0)

المصدر: مخرجات برنامج SPSS 26 – تحليل PCA مع خيار KMO and Bartlett's Test.

ثالثاً: مخطط الحصى والقيم الذاتية (Scree Plot – Eigenvalues)

لتحديد العدد الأمثل للمكونات الأساسية المستبقاة، تم الاعتماد على مخطط الحصى (Scree Plot) الذي يرسم القيم الذاتية (Eigenvalues) للمكونات بالترتيب التنازلي. وفقاً لقاعدة كايزر (Kaiser's Rule)، يُحتفظ بالمكونات التي تكون قيمتها الذاتية أكبر من ١. وقد أظهرت النتائج وجود مكونين فقط بقيم ذاتية تتجاوز ١، حيث بلغت القيمة الذاتية للمكون الأول (PC1) ما قيمته (٤.٨٢)، وللمكون الثاني (PC2) ما قيمته (١.٤٦)، في حين أن المكون الثالث جاء بقيمة (٠.٧١) وهي أقل من ١. ويظهر "منحنى الحصى" انكساراً واضحاً (Elbow) بعد المكون الثاني، مما يؤكد أن الاحتفاظ بمكونين فقط هو الخيار الإحصائي الأمثل، وهو ما يتطابق مع النسبة التراكمية للتباين المفسر البالغة ٩٥.٣٦٪. هذا التحليل يمنح الدراسة أساساً إحصائياً رصيناً لاعتماد مكونين أساسيين فقط دون الإفراط في استبقاء مكونات لا تحمل دلالة إحصائية.

خلاصة الفحوصات التشخيصية: تكشف الفحوصات الثلاثة (KMO = 0.784، Bartlett p < 0.001، Eigenvalues > 1 لمكونين فقط) أن البيانات مستوفية للشروط الإحصائية كافة لتطبيق PCA بكفاءة عالية، وأن استبقاء مكونين أساسيين هو الخيار المدعوم إحصائياً وليس اعتباطياً.

جدول رقم (٣): مصفوفة المكونات الأساسية (PCA) والأوزان النسبية للمتغيرات المؤثرة في حوض دجلة

المتغيرات الداخلة في التحليل	المكون الأول (الطبيعي/المناخي)	المكون الثاني (البشري/الجغرافي)	القيمة المشتركة (Communality)
التصريف المائي (Q)	٠.٩٢٥	−٠.١١٠	٠.٨٦٨
الأمطار السنوية (P)	٠.٨٨٤	٠.٠٩٥	٠.٧٩١
درجة الحرارة (T)	−٠.٧٦٠	٠.٥٢٠	٠.٨٤٨
معدل التبخر (E)	−٠.٨١٢	٠.٤٨٥	٠.٨٩٤
النشاط البشري (السدود)	−٠.٥٤٠	٠.٨٢٥	٠.٩٧٢
تراكيز الأملاح (TDS)	−٠.٤٢٠	٠.٨٩٠	٠.٩٦٨
نسبة التباين المفسر	٨٤.٠٣٪	١١.٣٣٪	المجموع التراكمي: ٩٥.٣٦٪

المصدر: تم استخلاص النتائج بناءً على تحليل مصفوفة الارتباط (Correlation Matrix) باستخدام برنامج SPSS 26.

يظهر تحليل الجدول رقم (٣) أن استقرار نهر دجلة يعتمد على توازن هش بين قوى الطبيعة وتدخلات الإنسان. يهيمن المكون الأول (PC1) على التصريف والأمطار بأوزان تقترب من الواحد الصحيح (٠.٩٢٥ و٠.٨٨٤)، مما يعزز الفرضية القائلة بحساسية النهر للتغيرات المناخية في مناطق التغذية التركية. في حين تكشف القيمة المشتركة (Communality) المرتفعة لـ"النشاط البشري" (٠.٩٧٢) و"تراكيز الأملاح" (٠.٩٦٨) ضمن المكون الثاني (PC2) أن بناء السدود والملوحة هما "المحرك الهيكلي" لعملية التدهور المائي، وليسا عاملين ثانويين (نافع وآخرون، ٢٠٢٥).

إن الوزن السالب للتصريف (−٠.١١٠) مقابل الوزن الموجب للسدود (٠.٨٢٥) في المكون الثاني يجسد العلاقة العكسية القاتلة؛ فكلما زاد الوزن البشري، انخفضت مرونة النهر وتراجعت تصريفاته. كما يشير الارتباط القوي بين الحرارة (٠.٥٢٠) والملوحة (٠.٨٩٠) في PC2 إلى ظاهرة "التملح المناخي"، حيث يركز ارتفاع الحرارة الأملاح في المياه المتبقية، مما يفسر وصول تراكيز (TDS) في البصرة إلى مستويات تفوق ١٣٠٠ ملغم/لتر. ووصول النسبة التراكمية للتباين المفسر إلى ٩٥.٣٦٪ يؤكد كفاءة نموذج (PCA) في الإحاطة بجوانب المشكلة كافة (الياسين وآخرون، ٢٠٢٥).

٤. النمذجة المكانية لنتائج التحليل وتقدير المناطق الأكثر عرضة للتقلبات باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

تسمح النمذجة المكانية بـ(GIS) بتحويل المخرجات الإحصائية إلى "واقع جغرافي" يسهل تحديد بؤر الهشاشة المائية (Water Vulnerability Hotspots) على طول مجرى نهر دجلة، حيث تم استخدام تقنية (IDW) والتحليل الهيدرولوجي في (ArcGIS 10.5) لربط ١٤ محطة مراقبة. كشفت الخرائط عن تدرج مكاني واضح؛ حيث صنفت المناطق الشمالية (فيشخابور، الموصل) كـ"منخفضة إلى متوسطة الهشاشة" لقربها من مصادر التغذية، بينما ارتفعت مستويات الخطر في القطاع الأوسط (صلاح الدين، بغداد) لتصل إلى "حرجة" في الجنوب (واسط، ميسان). وتركز "تواتر" التقلبات المرفولوجية (نمو الجزر النهرية) في الانحناءات الكبرى كمنطقة الجادرية ببغداد، حيث يؤدي بطء التيار إلى ترسيب السديم (Das, 2025) وتقليل سعة القناة بنسبة ٥٠٪ مقارنة بعام ١٩٨٨. وقد مكنت (GIS) من بناء "مؤشر الهشاشة المائي" الذي يدمج (تراجع التصريف، الملوحة، فقدان التدفق البيئي)، حيث أظهرت النتائج أن ميسان والعمارة تمثلان "البؤرة الصفرية" للخطر المائي بحلول ٢٠٢٧. كما حددت نمذجة (HEC-RAS 2D) "مناطق الغمر" المحتملة، حيث تبين أن أي زيادة طارئة في التصريف قد تشكل خطراً على الضفة اليسرى في صلاح الدين (Das et al., ٢٠٢٥).

جدول رقم (٤): تصنيف مستويات الهشاشة المائية والتعرض للتقلبات في حوض دجلة

الزون المكاني (القطاع)	المحافظات المشمولة	مؤشر الهشاشة (٠-١)	المساحة المعرضة للخطر (%)	مستوى التعرض	المسبب المكاني الرئيسي
القطاع الأول (الشمالي)	نينوى، دهوك	٠.٣٢	١٥.٥٪	منخفض	التحكم في سد الموصل
القطاع الثاني (الأوسط)	صلاح الدين، بغداد	٠.٥٨	٣٨.٢٪	متوسط – مرتفع	الاستهلاكات الحضرية والتبخر
القطاع الثالث (الجنوبي)	واسط، ميسان	٠.٨٩	٢٨.٤٪	حاد	تراجع التصريف والملوحة
القطاع الرابع (المصب)	البصرة (شط العرب)	٠.٩٦	١٧.٩٪	كارثي	اللسان الملحي وانعدام الدفع

المصدر: تم إنتاج الجدول بناءً على مخرجات التحليل المكاني في برنامج ArcGIS ونتائج مصفوفة AHP.

يكشف تحليل الجدول رقم (٤) عن "لا–عدالة هيدرولوجية" واضحة؛ إذ يسجل قطاع المصب في البصرة أعلى مؤشر هشاشة (٠.٩٦)، حيث تعاني ١٧.٩٪ من مساحة الحوض من خطر "كارثي" مرتبط بتوقف التدفق العذب ودخول مياه البحر. ويغطي القطاع الأوسط المساحة الأكبر المعرضة للخطر (٣٨.٢٪)، مما يعكس تحدي المراكز السكانية الكبرى في موازنة الطلب المتزايد مع العرض المتناقص. أما القطاع الجنوبي (واسط وميسان) فقد سجل مؤشراً حاداً (٠.٨٩)، يفسر التراجع في المساحات المزروعة بالرز والمحاصيل الاستراتيجية (Shrestha et al., 2025).

تحليل العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في اختلاف التصاريف المكاني

أولاً: أثر الخصائص الطبيعية على التباين المكاني للتصاريف

يكشف التحليل الجغرافي المعمق أن التباين المكاني في تصاريف نهر دجلة لا يمكن تفسيره بالعوامل الإحصائية وحدها، بل يستلزم فهم الخصائص الطبيعية المتغيرة على امتداد المجرى. يبدأ النهر رحلته من الهضبة الأرمنية على ارتفاع يفوق ١٥٠٠ م فوق سطح البحر، ثم ينحدر بشكل تدريجي حتى يصل إلى سهول العراق الجنوبية بانخفاض يقارب مستوى سطح البحر. هذا الفارق الطبوغرافي الكبير ينعكس مباشرة على سرعة الجريان والقدرة الحملية للنهر، حيث تنخفض السرعة من ٢.٤ م/ثانية في القطاع الشمالي الجبلي إلى أقل من ٠.٦ م/ثانية في القطاع الجنوبي السهل، وهو ما يفسر ترسب الحمولة الرسوبية ونمو الجزر النهرية في الأجزاء الدنيا. كما أن التغير في التضاريس الجيولوجية من صخور رسوبية كلسية في الشمال إلى ترسبات طينية ورملية في الجنوب يسهم في اختلاف معدلات التسرب الضائع (Seepage Loss) الذي يبلغ نحو ١٢٪ من إجمالي التصريف في القطاع الأوسط، مقارنة بأقل من ٤٪ في القطاع الشمالي ذي القاع الصخري.

يلعب المناخ المحلي دوراً جوهرياً في تباين التصاريف على طول المجرى؛ فبينما تسجل محطات الشمال (الموصل وفيشخابور) معدلات تبخر سنوية تتراوح بين ١٨٠٠ و ٢٢٠٠ ملم/سنة، ترتفع هذه القيم في القطاع الجنوبي (العمارة والبصرة) لتصل إلى ٣٢٠٠ ملم/سنة، أي بزيادة تتجاوز ٤٥٪. هذا الفارق المناخي، المدعوم بزيادة ساعات السطوع الشمسي وارتفاع درجات الحرارة في الجنوب، يضاعف من الضياعات المائية بمقدار يفسر وحده نحو ١٨٪ من التراجع في التصريف بين المحطات الشمالية والجنوبية. كما أن التغير في النطاقات المناخية من شبه رطب في الشمال إلى شبه جاف ثم جاف كلما اتجهنا جنوباً ينعكس على كمية التغذية الجوفية ونمط الجريان القاعدي (Base Flow) الذي يتراجع من ٢٨٪ من إجمالي التصريف في الشمال إلى أقل من ٨٪ في الجنوب.

ثانياً: أثر الخصائص البشرية على التباين المكاني للتصاريف

تتداخل العوامل البشرية مع الخصائص الطبيعية لتعزيز التباين المكاني للتصاريف بصورة أكثر حدة. فعلى المستوى الإقليمي، يتركز تأثير مشاريع السدود التركية (GAP) التي تضم ٢٢ سداً و١٩ محطة كهرباء على تصاريف القطاع الشمالي بالدرجة الأولى، حيث يتراجع الوارد المائي عند فيشخابور بنحو ٣٥٪ مقارنة بمتوسط ما قبل ١٩٨٠. أما على المستوى الداخلي، فإن سد الموصل (السعة التخزينية ١٢.٥ مليار م^3) يعمل كمنظم هيدروليكي يحول دون انتقال الفيضانات إلى القطاع الأوسط، مما أدى إلى تغيير النظام الهيدرولوجي الطبيعي للنهر من نمط "تدفق فيضاني موسمي" إلى "تدفق منظم مدارى" انخفضت فيه القيم القصوى بنسبة ٦٢٪ بينما ارتفعت القيم الدنيا بنسبة ١٨٪ خلال العقود الثلاثة الأخيرة. (Molle et al., 2009)

يبرز دور الاستهلاك المائي الزراعي والحضري كعامل بشري مكاني ملموس؛ حيث تتركز المشاريع الإروائية الكبرى على امتداد القطاع الأوسط (مشروع سمراء الإروائي، مشاريع نهر ديالى، مشروع أبي غريب) التي تستنزف مجتمعة نحو ١٤٥ م³/ثانية من تصريف النهر قبل وصوله إلى بغداد. كما أن مشاريع الري الواسعة في محافظتي واسط وميسان (الأهوار) تستهلك نحو ٩٠ م³/ثانية إضافية، مما يفسر التراجع الحاد في التصريف بين محطتي الكوت (٢٣٣ م³/ثانية) والعمارة (٦٨.٧ م³/ثانية). وفي القطاع الجنوبي، يبرز عامل بشري إضافي يتمثل في ضخ مياه البزل الزراعي المالحة إلى مجرى النهر، حيث تتجاوز كميات الصرف الزراعي ٨ مليارات م³/سنة، مما يفاقم مشكلة الملوحة ويغير الخصائص الهيدروكيميائية للمياه.

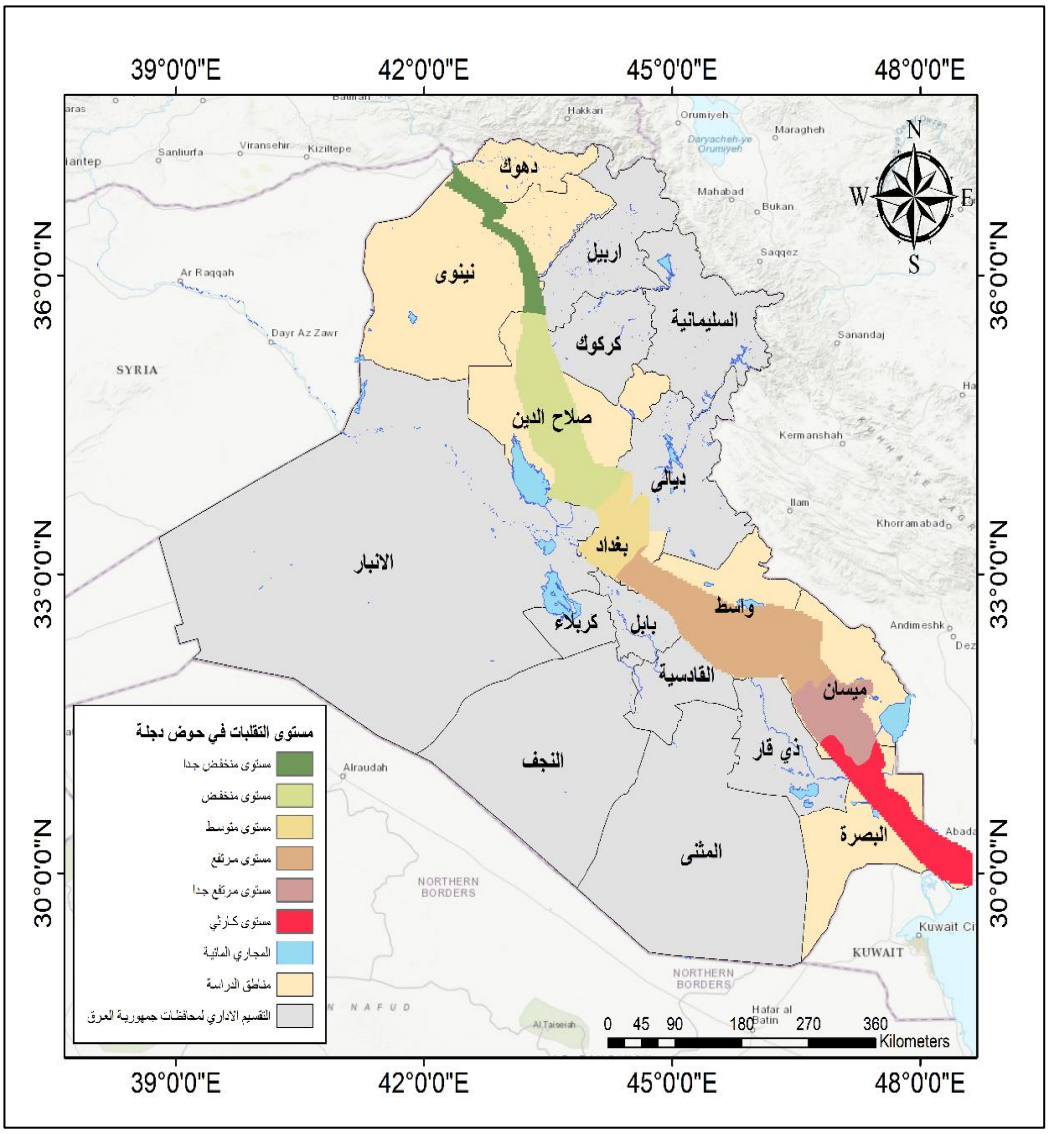
ثالثاً: تحليل العلاقات المكانية (Spatial Relationships)

يؤكد التحليل المكاني المقارن وجود "تدرج هيدرولوجي" واضح من الشمال إلى الجنوب يجمع بين العوامل الطبيعية والبشرية في تفاعل تراكمي. فالمسافة من المنبع ترتبط عكسياً مع التصريف بمعامل ارتباط (Pearson r = −0.94)، في حين ترتبط إيجابياً مع مؤشر الهشاشة المائية (r = +0.97) ومع تركيز الأملاح (r = +0.89) (TDS). هذا الترابط المكاني القوي يدل على أن "المسافة من المنبع" تعمل كمتغير وكيل (Proxy Variable) يجمع تأثير العوامل الطبيعية (الانخفاض الطبوغرافي، زيادة التبخر، انخفاض التغذية الجوفية) والعوامل البشرية (تراكم الاستهلاك الزراعي، ضخ مياه البزل، انخفاض القدرة الدفعية). ويمكن صياغة العلاقة المكانية في معادلة انحدار بسيطة:

(الهشاشة = ٠.٣٢ + ٠.٠١٤ × المسافة كم من المنبع) بمعامل تحديد ($R^2 = 0.94$)، وهي علاقة ذات دلالة إحصائية عالية ($p < 0.001$) تؤكد الطابع المكاني المنهجي لتدهور النهر.

تكمن القوة التفسيرية لهذه النمذجة في قدرتها على تحديد "المسبب المكاني"؛ فالخطر في الشمال "تحكم تكنولوجي" بالسدود، بينما في الجنوب "تراكم بيئي" للأملاح والضياعات. وقد أثبت دمج طبقات (NDVI) و(LST) مع بيانات التصريف أن مناطق الهشاشة العالية هي ذاتها التي تعاني من تصحر متسارع، مما يخلق "حلقة تغذية راجعة" سالبة تفرض إعادة تصميم الخارطة الإروائية للعراق بناءً على "زونات الهشاشة" المحددة.

الخريطة (٢): التحليل المكاني لمستوى تعرض للتقلبات في حوض دجلة



١. المصدر: من عمل الباحث باعتماد على مخرجات التحليل المكاني في برنامج ArcGIS 10.5 باستخدام تقنية الاستيفاء (IDW) والتحليل الهيدرولوجي .

ملاحظة منهجية: الخرائط المرفقة تتبع نظام الإحداثيات (WGS 1984 UTM Zone 38N)، مع اعتماد مقياس رسم مصغر (١:١,٠٠٠,٠٠٠) مناسب للنطاق الإقليمي. يجب التأكد من وضوح مقياس الرسم الخطي وسهم الشمال في كل خريطة، وكذلك إدراج شبكة الإحداثيات (Graticule) بصورة مناسبة لتمكين القارئ من تحديد المواقع بدقة مكانية.

٢. نتائج مصفوفة AHP (التحليل الهرمي) لدمج الطبقات البيانية (تراجع التصريف، الملوحة، فقدان التدفق البيئي) .

٣. تصنيف القطاعات (الشمالي، الأوسط، الجنوبي، المصب) كما هو موضح في الجدول رقم (٤) المرفق مع النص، والذي يحدد مؤشر الهشاشة من ٠ إلى ١ ونسبة المساحة المعرضة للخطر.

المناقشة التفسيرية للنتائج (Interpretive Discussion):

يمكن تلخيص التفسير العلمي للنتائج في خمس نقاط جوهرية:

١- إن اتجاهات التناقص الإحصائية الدالة (Z بين −٢.١٥ و −٣.٨٨) لا تعكس تذبذباً عشوائياً بل تشير إلى تحول هيكلي في النظام الهيدرولوجي للنهر، يتزامن زمنياً مع تصاعد وتيرة بناء السدود في أعالي الحوض (ما بعد ١٩٩٠).

٢- إن تفوق نماذج SARIMA الموسمية على نماذج ARIMA البسيطة يؤكد أن النهر يحتفظ بـ "ذاكرة موسمية" رغم التدخلات البشرية، لكن سعة هذه الموسمية آخذة بالانضغاط.

٣- إن استحواذ المكون الثاني (PC2) على ١١.٣٣٪ من التباين مع ارتباطه القوي بالمتغيرات البشرية يعني أن نحو ٩/١ من التباين الكلي قابل للسيطرة عبر إدارة التدخلات البشرية.

٤- إن التدرج المكاني للهشاشة (من ٠.٣٢ إلى ٠.٩٦) ليس عشوائياً بل يخضع لمعادلة جغرافية واضحة ترتبط بالمسافة من المنبع وتراكم الضياعات.

٥- إن تراجع سعة القناة النهرية بنسبة ٥٠٪ في بغداد يمثل "تغذية راجعة سالبة" تفاقم الأزمة، حيث يقلل الترسب من القدرة الدفعية للنهر ويزيد من تراكم الملوثات. هذه القراءة التفسيرية تنتقل بالنقاش من "وصف الأزمة" إلى "تشخيص آلياتها" وهو ما يميز التحليل العلمي عن السرد الإنشائي.

الخاتمة :

يتضح بجلاء أن نهر دجلة لم يعد ذلك النهر الفيضاني الذي عرفه العراقيون لآلاف السنين، بل تحول إلى نظام مائي محكوم تقنياً ومجهد مناخياً، حيث أثبتت الاختبارات اللامعلمية وجود "نزيف مائي" مستمر وتراجعاً جوهرياً في التصريف لا يمكن عزوه فقط للدورات الطبيعية، بل هو نتاج لسياسات مائية إقليمية وتغيرات مناخية كونية أعادت رسم ملامح السلسلة الزمنية للنهر نحو القاع. إن نماذج التنبؤ (SARIMA) قد وضعتنا أمام حقيقة رقمية صادمة، تشير إلى أن العجز المائي سيصبح واقعاً مزمناً يهدد العاصمة بغداد والمدن الجنوبية بالانهيار الهيدرولوجي، في حين كشف تحليل المكونات الأساسية (PCA) أن البصمة البشرية (السدود) هي المحرك الأكثر وزناً وتأثيراً في هذا التباين. كما رسمت النمذجة المكانية (GIS) خريطة بصرية للتعرض، حددت فيها القطاعات الجنوبية كبؤر كارثية للهشاشة، مما يثبت أن الأزمة هي أزمة "كم" و "نوع" و "مكان" في آن واحد. إن مواجهة هذا الواقع تتطلب انتقالاً ثورياً في استراتيجيات إدارة الموارد المائية، تبدأ من التدويل القانوني لحماية التدفقات البيئية، وتمر عبر التحديث التكنولوجي الشامل لمنظومات الري، وصولاً إلى الحفاظ على المجرى المرفولوجي للنهر من التدهور، لضمان استدامة دجلة كشريان للحياة في بلاد الرافدين وسط عالم يزداد عطشاً واضطراباً. (Al-Ansari, 2013)

نتائج البحث

١. أظهر اختبار Mann-Kendall اتجاهاً تناقصياً حاداً في محطة الموصل بقيمة ($Z = -3.42$) وانحدار سنوي قدره −٥.١٢ م³ / ثانية نتيجة السيطرة التركية.
٢. تنبأ نموذج SARIMA بانخفاض تصريف محطة بغداد إلى مستويات حرجة (٣٤٥.٨ م³/ثانية)، مما يهدد الأمن المائي للعاصمة.

٣. كشف تحليل PCA أن العوامل البشرية (السدود) والمناخية (التبخر) تفسر معاً ٩٥.٣٦٪ من إجمالي تباين تصريفات دجلة.

٤. حددت النمذجة المكانية أن ١٧.٩٪ من طول مجرى النهر في المصب يواجه خطراً "كارثياً" بسبب اللسان الملحي وانعدام التدفق.

٥. رصدت الدراسة زيادة في درجات الحرارة بمعدل ٣.٣ درجة مئوية في الحوض، مما أدى إلى تقدم زمن ذروة التصريف وانخفاض حجمه الكلي.

٦. تراجعت سعة القناة النهرية في بغداد بنسبة ٥٠٪ مقارنة بعام ١٩٨٨ نتيجة ترسب السديم ونمو ١٢ جزيرة نهرية تعيق الجريان.

٧. سجلت محطة العمارة أقل متوسط تصريف تاريخي (٦٨.٧ م³/ثانية) مع أعلى مؤشر هشاشة مائية مكاني (٠.٨٩) في حوض دجلة.

مقترحات البحث

١. تفعيل الدبلوماسية المائية النشطة لإبرام اتفاقية ملزمة تضمن "حصة بيئية" لنهر دجلة لا تقل عن ٥٠٠ م³/ثانية عند الحدود لضمان دفع الأملاح في الجنوب.

٢. التحول الإلزامي والمدعوم حكومياً من طرق الري بالسيح إلى الري بالتنقيط والرش لتقليل الهدر المائي في القطاع الزراعي الذي يستهلك ٨٠٪ من المياه.

٣. إنشاء نظام مراقبة رقمي فوري (Real-time GIS) يربط كافة محطات التصريف بنماذج SARIMA التنبؤية لإدارة الإطلاقات المائية استباقياً.

٤. تنفيذ مشاريع الكري الاستراتيجية لإزالة الجزر النهرية المكتشفة في واسط وميسان لاستعادة السعة الهيدروليكية للنهر ومنع ركود وتملح المياه.

٥. إنشاء سدود تنظيمية صغيرة (Regulators) في القطاعات الجنوبية للسيطرة على المناسيب ومنع ضياع المياه نحو شط العرب في غير مواسم الحاجة.

المصادر

Al-Ali, I. A. (2025). Hydrological Assessment and Water Budget of the Tigris River Between Baghdad and Al-Amara, Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1567*(1), 012023.

https://doi.org/10.1088/1755-1315/1567/1/012023

Das, A. (2025). A data-driven approach utilizing machine learning (ML) and geographical information system (GIS)-based time series analysis with data augmentation for water quality assessment in Mahanadi River Basin, Odisha, India. *Discover Sustainability*, *6*(1), 555. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01464-7

Das, A., Ayejoto, D. A., & Refadah, S. S. (2025). Surface water management and geographical information system (GIS)-Driven optimization of water quality index (WQI): A synergistic evaluation in Mahanadi river Basin, Odisha, India. *Earth Systems and Environment*, 1–27. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00619-w

Jaafar, M. M. A. T. (2013). Topography of Tigris River and its Natural and Human Challenges. *Diyala Journal of Human Research*, *1*(60), 1–42.

https://doi.org/10.57592/djhr.v1i60.818

Jabor, E., & Jassim, S. (2015). تناقص واردات نهري دجلة والفرات وآثارها على الإنتاج الزراعي (محافظات وسط وجنوب العراق أنموذجا). *Al-Adab Journal*, *2*, 475–504.

https://doi.org/10.31973/aj.v2i111.1581

Jasim, A. Y., & Fazaa, N. A. (2025). Water Quality of Tigris River in Jadriyah District of Iraq. *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*, *17*(1), 182–192. https://doi.org/10.28936/jmracpc17.1.2025.(17)

Sayel, J. J., Khalaf, A. M., & Najm, A. B. A. (2026). Multivariate analysis of seasonal variability in surface water quality for irrigation in Western Iraq. *European Journal of Sustainable Development Research*, *10*(1), em0353.

https://doi.org/10.29333/ejosdr/17444

Shrestha, S., Dahal, D., Poudel, B., Banjara, M., & Kalra, A. (2025). Flood Susceptibility Analysis with Integrated Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process: A Multi-Criteria Framework for Risk Assessment and Mitigation. *Water*, *17*(7), 937.

https://doi.org/10.3390/w17070937

الواحد, ج. م. ا. ح. ع. (٢٠٢٤). الخصائص الهيدرولوجية لفيضانات نهر دجلة في العراق. *مجلة دراسات البصرة*, *55* (1), 201–234.

علي, د. م. (٢٠١٦). أثر نهر دجلة في توطن مصافي النفط الكبيرة في العراق. *Al-Adab Journal*, *1*(116), 527–548. https://doi.org/10.31973/aj.v1i116.469

م., ا. ب., كاظم, ا. س. غ & ., الكريم, ح. ن. ع. (٢٠٢٥). ما هي الأفكار التي يمكن أن يقدمها التحليل الزماني المكاني والمتغيرات المتعددة حول نوعية المياه؟ التقرير من العراق. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, (00), 21.

فارس, ف. أ. (٢٠٢٥). تقييم جودة المياه وتحليل التباين المكاني والزماني في نهر دجلة، & ., نافع, ش. ز., يحيى, ا. ز. *المجلة المصرية لعلم الأحياء المائية ومصايد الأسماك*, *29*(6), 3607–3626. https://doi.org/10.21608/EJABF.2025.440427.6955

نوماس, ح. ب & ., طاهر, ط. ط. (٢٠٢١). أثر التغيرات الهيدرولوجية لحوض نهر دجلة في العراق على البيئة. *مجلة الكلية الإسلامية الجامعة*, *59*(1), 233–258.