Assessment of Future Scenarios for Hydrological System Restoration in Hawizeh Marsh, Southern Iraq

Mohammed K. N. Al- Gal ibi
Department of Geography, College of Education for Human Sciences, University of Basrah, Basrah, Iraq.

ARTICLE INFO

Received: 4 August 2026
Accepted: 13 August 2026
Published: 20 September 2026

Doi : https://doi.org/10.59750/jbrhs.2026.51.1.159

*Cooresponding author Email: mohammed.nima@uobasrah.edu.iq

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Keywords: Hawizeh Marsh, Hydrological System,Future Scenarios, Multiple Linear Regression, Climate Change, Wetlands.

ABSTRACT

Objective: This study evaluates future scenarios for restoring the Hawizeh Marsh hydrological system by analysing hydrological and climatic variables during 1990–2024 and developing three future scenarios for 2025–2034 using time series models and multiple linear regression.

Methodology: A quantitative analytical approach was adopted using data on river discharges feeding the Hawizeh Marsh, air temperature, rainfall, evaporation, and inundation area. Time series models were employed to forecast hydrological and climatic variables, while multiple linear regression was used to develop future scenarios and evaluate model performance statistically.

Results: The multiple linear regression model demonstrated good predictive performance, with a coefficient of determination (R^2 = 0.566), an adjusted coefficient of determination (Adjusted R^2 = 0.458), and statistical significance (Sig. = 0.003). The reference scenario projected a decline in inundation area from 524.30 to 249.10 km², whereas the pessimistic scenario predicted a reduction from 393.24 to 186.86 km² owing to continued decreases in water releases and the cessation of Karkheh River discharge. By contrast, the optimistic scenario projected a maximum inundation area of 629.18 km² in 2025, stabilising at 298.97 km² by 2034 because of improved water inflows, favourable climatic conditions, and exceptional flooding within the Karkheh River Basin.

Conclusions: Environmental flows and integrated water resources management are the key drivers of hydrological restoration in the Hawizeh Marsh. Integrating time series modelling with multiple linear regression within a future scenario framework provides a reliable scientific basis for strategic planning and sustainable wetland management in arid and semi-arid regions

تقييم السيناريوهات المستقبلية لإستعادة النظام الهيدرولوجي في هور الحويزة جنوب العراق

محمد قحطان نعمة الغالبي[1]

[1]قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الأنسانية، جامعة البصرة، البصرة، العراق.

معلومات البحث

تاريخ الاستلام: 4 آب 2026

تاريخ القبول: 16 آب 2026

تاريخ النشر: 20 أيلول 2026

Doi: https://doi.org/10.59750/jbrhs.2026.51.1.159

البريد الإلكتروني للباحث المرسل:

mohammed.nima@uobasrah.edu.iq

الكلمات المفتاحية:هور الحويزة، النظام الهيدرولوجي، السيناريوهات المستقبلية، الانحدار الخطي المتعدد، التغير المناخي، الأراضي الرطبة.

المستخلص

اهداف البحث: تهدف الدراسة إلى تقييم السيناريوهات المستقبلية لإستعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة، من خلال تحليل المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية للمدة (1990–2024)، وبناء ثلاثة سيناريوهات مستقبلية للمدة (2025–2034) باستخدام نماذج السلاسل الزمنية والانحدار الخطي المتعدد.

المنهجية: اعتمدت الدراسة المنهج الكمي والتحليلي، بالاستناد إلى بيانات تصاريف الأنهار المغذية لهور الحويزة، ودرجات الحرارة، والأمطار، والتبخر، ومساحة الغمر، مع توظيف نماذج للتنبؤ بالمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية، والانحدار الخطي المتعدد لبناء السيناريوهات المستقبلية وتقييم كفاءة النموذج إحصائيًا.

النتائج: أظهرت نتائج التحليل أن نموذج الانحدار الخطي المتعدد تمتع بقدرة تفسيرية جيدة، إذ بلغ معامل التحديد($R^2 = 0.566$) ، ومعامل التحديد المعدل (Adjusted $R^2 = 0.458$)، مع معنوية إحصائية مرتفعة($Sig. = 0.003$) ، مما يؤكد ملاءمته للتنبؤ. كما بينت النتائج تراجع مساحة الغمر في السيناريو المرجعي من (524.30) إلى (249.10) كم²، وانخفاضها في السيناريو المتشائم من (393.24) إلى (186.86) كم² نتيجة استمرار انخفاض الإطلاقات المائية وانقطاع تصاريف نهر الكرخة، في حين حقق السيناريو المتفائل أعلى مساحة غمر بلغت (629.18) كم² عام 2025، واستقرت عند (298.97) كم² عام 2034 نتيجة تحسن الإيرادات المائية والظروف المناخية وحدوث فيضانات استثنائية في حوض نهر الكرخة.

الاستنتاجات: تؤكد الدراسة أن التدفقات البيئية والإدارة المتكاملة للموارد المائية تمثلان العامل الحاسم في استعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة، وأن دمج نماذج السلاسل الزمنية والانحدار الإحصائي ضمن إطار السيناريوهات المستقبلية يوفر أداة علمية موثوقة لدعم التخطيط وإدارة الأراضي الرطبة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

1.المقدمة

تُمثل الأراضي الرطبة أحد أكثر النظم البيئية تعقيدًا وأهمية على المستوى العالمي، إذ تؤدي دورًا محوريًا في تنظيم النظام الهيدرولوجي، وخزن المياه، والمحافظة على التنوع الأحيائي، ودعم التوازن البيئي والخدمات الاقتصادية والاجتماعية، الأمر الذي جعلها محورًا رئيسًا في سياسات الإدارة البيئية المستدامة واستراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية(Davidson, 2014: 935; Millennium E. A., 2005: 7) ويُعد هور الحويزة من أبرز الأراضي الرطبة العابرة للحدود في جنوب العراق، إذ يعتمد استقراره الهيدرولوجي على الإطلاقات المائية الواردة من نهري دجلة والكرخة وروافدهما، وبين العناصر المناخية التي تتحكم بالميزان المائي، وخاصة درجات الحرارة والأمطار والتبخر، مما يجعل هذا النظام البيئي شديد الحساسية لأي تغير في الموارد المائية أو الظروف المناخية(Finlayson et al., 2018: 42) وقد شهد هور الحويزة خلال العقود الأخيرة تراجعًا واضحًا في كفاءة نظامه الهيدرولوجي نتيجة التداخل بين الضغوط الطبيعية والبشرية، وخاصة التذبذب المناخي، وارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض الإيرادات المائية، والتوسع في إنشاء السدود والمنشآت المائية داخل الأحواض المشتركة، وهو ما انعكس في تقلص مساحة الغمر وتدهور العديد من الوظائف البيئية للأهوار. وفي ظل هذه المتغيرات، لم يعد تقييم الواقع الحالي كافيًا لفهم مستقبل الهور، بل أصبح من الضروري تبني منهج تنبؤي يعتمد على بناء سيناريوهات كمية تستند إلى العلاقات الإحصائية بين المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية، بما يتيح تقدير المسارات المستقبلية للنظام الهيدرولوجي ودعم القرارات المتعلقة باستعادة الأراضي الرطبة وإدارة الموارد المائية.(Kingsford et al., 2016: 895)

تتناول هذه الدراسة تقييم السيناريوهات المستقبلية لإستعادة النظام الهيدرولوجي في هور الحويزة من خلال تحليل السلاسل الزمنية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية خلال المدة (1990–2024)، وبناء ثلاثة سيناريوهات مستقبلية للمدة (2025–2034). وتنطلق الدراسة من إشكالية تتمثل في عدم وضوح مستقبل النظام الهيدرولوجي للهور في ظل استمرار الضغوط المناخية والإدارة المائية العابرة للحدود، وتفترض أن استعادة الهور ترتبط بدرجة أساسية بتحسن الإطلاقات المائية من الأنهار المغذية مع تأثرها بالعوامل المناخية، وأن استخدام النمذجة الإحصائية في بناء السيناريوهات المستقبلية يوفر أساسًا علميًا أكثر دقة لتقدير فرص الاستعادة. وفي ضوء ذلك، تهدف الدراسة إلى تحليل التغيرات الهيدرولوجية والمناخية، وتقييم أثرها في مساحة الغمر، وبناء سيناريوهات مستقبلية تدعم التخطيط والإدارة المستدامة للموارد المائية. واقتصرت حدود الدراسة مكانياً على هور الحويزة في جنوب العراق، مع التركيز على الأنهار المغذية له، وهي دجلة والمشرح والكحلاء والكرخة، في حين شملت حدودها الزمانية تحليل بيانات المدة (1990–2034)

2.المنهجية

أعتمدت الدراسة المنهج (الكمي–التحليلي–الوصفي)، لتحليل التغيرات الهيدرولوجية والمناخية في هور الحويزة للمدة (1990–2024)، بإستخدام نماذج السلاسل الزمنية للتنبؤ بالمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية، والانحدار الخطي البسيط والمتعدد لقياس

أثر المتغيرات المستقلة في مساحة الغمر، وبناء ثلاثة سيناريوهات مستقبلية لاستعادة النظام الهيدرولوجي خلال المدة (2025–2034)

2.1.مصادر البيانات: اعتمدت الدراسة على بيانات تصاريف الأنهار المغذية لهور الحويزة (دجلة، المشرح، الكحلاء، والكرخة)، و درجات الحرارة والأمطار والتبخر ومساحة الغمر. فضلاً عن الكتب والدراسات العلمية المحكمة، وتقارير المنظمات الدولية، مثل اتفاقية رامسار(Ramsar) ، والهيئة الحكومية الدولية (IPCC)، وبرنامج (UNEP)، لدعم الإطار النظري وتفسير النتائج.

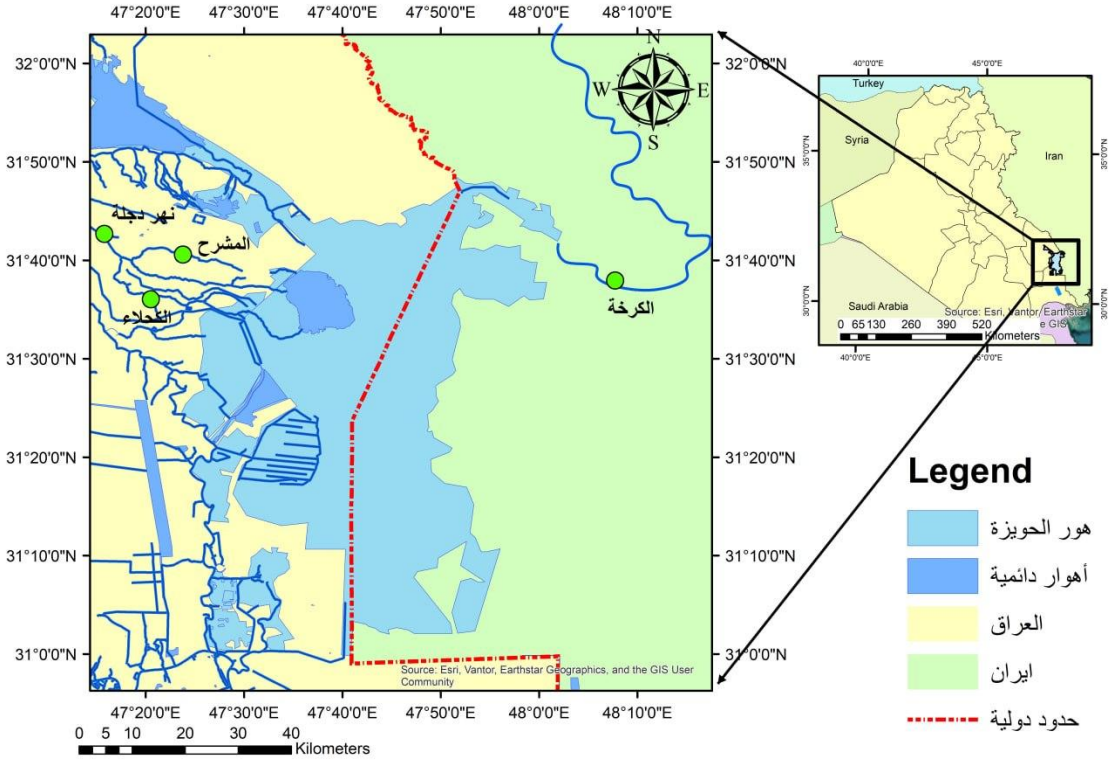
2.2.مجتمع الدراسة والعينة :تمثل مجتمع الدراسة بالنظام الهيدرولوجي لهور الحويزة، من خلال دراسة المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية المؤثرة في مساحة الغمر، وتصاريف الأنهار المغذية، ودرجات الحرارة، والأمطار، والتبخر، ومساحة الغمر. واعتمدت على البيانات السنوية للمدة (1990–2024)، والتي شكلت الأساس في التحليلات الإحصائية وبناء السيناريوهات المستقبلية.

2.3.أدوات جمع البيانات وتحليلها: اعتمدت الدراسة على تحليل السلاسل الزمنية للتنبؤ بالمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية، والانحدار الخطي البسيط لقياس العلاقة بين مساحة الغمر وكل متغير مستقل، والانحدار الخطي المتعدد لبناء النموذج التنبؤي، مع تقييم كفاءة النماذج باستخدام معامل التحديد(R^2) ، ومعامل التحديد المعدل(Adjusted R^2) ، وتحليل التباين(ANOVA) ، والانحدار المتدرج(Stepwise Regression) ، واختبار دوربن–واتسن(Durbin–Watson) إضافة إلى مؤشرات (RMSE) و (MAE)و (MAPE)و (Normalized BIC)وأُجريت جميع التحليلات باستخدام برنامج.IBM SPSS Statistics 29 ولوجود بعض القيم المفقودة، تُركت دون تعويض واستُبعدت من تحليل الانحدار، ليعتمد النموذج على 26 مشاهدَة.

2.4.حدود الدراسة: اقتصرت الدراسة موضوعيًا على تقييم السيناريوهات المستقبلية لاستعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة وبناء سيناريوهات مستقبلية. ومكانيًا، شملت هور الحويزة الواقع في جنوب شرق العراق، بين دائرتي عرض (″31°33′44) شمالًا وخطي طول (″47°39′28) شرقًا، فضلًا عن الأنهار الرئيسة المغذية له(دجلة–المشرح–والكحلاء–الكرخة)، كما هو موضح في (خريطة1). أما زمانيًا، فقد شملت تحليل البيانات التاريخية للمدة (1990–2024)، وبناء السيناريوهات المستقبلية للمدة (2025–2034)، كما اقتصرت الدراسة على مساحة الغمر الكلية لهور الحويزة ولم تتناول التباين المكاني التفصيلي لتوزيع الغمر داخل الهور وهو ما يمثل احد حدود الدراسة ويمكن ان يكون محوراً لدراسات مستقبلية اكثر تفصيلاً.

2.5.الدراسات السابقة: دراسة (Ati et al., 2025) تناولت أثر التغير المناخي في أهوار العراق الرئيسة وأظهرت ارتفاع درجات الحرارة وتراجع الإيرادات المائية وانخفاض مساحات الغمر، مؤكدةً على أهمية التعاون الإقليمي للحد من تدهور النظام البيئي. دراسة (Nama et al., 2024) قيّمت مستقبل استدامة الأهوار العراقية في ظل شح المياه والتغير المناخي، وأوضحت أن استمرار العجز المائي سيؤدي إلى تقلص مساحات الاستعادة، وأوصت بتبني استراتيجيات تكيف وإدارة مائية مستدامة. دراسة (Ethaib et al., 2023)تناولت واقع الموارد المائية في جنوب العراق والتحديات المستقبلية المؤثرة فيها، وبيّنت أن استدامة

خريطة 1 منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على على بيانات Ramsar2019 وبرنامج ArcGis10.8

الأهوار ترتبط بتحسين إدارة الموارد المائية على مستوى الأحواض المشتركة.دراسة (Hussein & Asal, 2023) حللت أثر الجفاف والعوامل الطبيعية والبشرية في أهوار جنوب العراق. دراسة :(Alani et al., 2022) ركزت على واقع الأهوار العراقية وإمكانات استعادتها وتنميتها المستدامةدراسة :(Hashim et al., 2019) استخدمت RS في رصد التغيرات المكانية في الأهوار الجنوبية، وأثبتت وجود تراجع واضح في مساحات الغمر.دراسة (Khudair & Al-Musawi, 2018) وظفت ANN للتنبؤ بجودة مياه هور الحويزة، وقد اثبتت فاعلية النمذجة الحديثة في التنبؤ بالمتغيرات البيئية.دراسة (Daggupati et al., 2017) أعادت بناء النظام الهيدرولوجي التاريخي للأحواض المغذية لهور الحويزة باستخدام نموذج(SWAT) ، وأوضحت أن السدود والتغيرات المناخية تسببت في انخفاض كبير في الإيرادات المائية الواصلة إلى الهور.دراسة (Mohamed, 2014) قيّمت الحالة البيئية لهور الحويزة باستخدام مؤشر IBI، وتوصلت الى ضرورة تحسين الظروف الهيدرولوجية لضمان الاستعادة المستدامة. اما **الفجوة البحثية:** يتضح من الدراسات السابقة أنها ركزت على تحليل آثار التغير المناخي، ورصد التغيرات المكانية للأهوار، وتقييم الموارد المائية وجودة المياه، أو إعادة بناء النظام الهيدرولوجي التاريخي، إلا أنها لم تقدم إطارًا تنبؤيًا متكاملًا يوظف

السلاسل الزمنية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية مع النمذجة الإحصائية لتطوير سيناريوهات مستقبلية لاستعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة. ومن ثم، تسعى الدراسة الحالية إلى سد هذه الفجوة من خلال بناء نموذج تنبؤي يعتمد على بيانات تاريخية طويلة الأمد لتقييم سيناريوهات الاستعادة خلال المدة (2025–2034)، بما يدعم الإدارة المستدامة للموارد المائية واتخاذ القرار.

3.النتائج والمناقشة

3.1.تحليل الخصائص الهيدرولوجية والمناخية لهور الحويزة (1990–2024)

اعتمدت الدراسة على تحليل السلاسل الزمنية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية خلال المدة (1990–2024)، بهدف تشخيص اتجاهات التغير التي أثرت في النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة، وتحديد المتغيرات الأكثر تأثيرًا في مساحة الغمر، تمهيدًا لبناء السيناريوهات المستقبلية.

–**تطور تصاريف نهر دجلة:** يُعد نهر دجلة المصدر الرئيس لتغذية هور الحويزة من الجانب العراقي، لذلك فإن أي تغير في تصاريفه ينعكس مباشرة على مساحة الغمر. وتبين بيانات تذبذبًا واضحًا في التصاريف خلال مدة الدراسة، إذ بلغت 103م³/ثا عام 1990، وارتفعت إلى 226م³/ثا عام 1995، ثم انخفضت إلى 36م³/ثا عام 2009، قبل أن تسجل أعلى قيمة بلغت 134م³/ثا عام 2019، لتنخفض مجددًا إلى 89م³/ثا عام 2024(جدول1). ويعكس هذا التذبذب تأثير التغيرات المناخية وسياسات إدارة المياه في أعالي الحوض، الأمر الذي أدى إلى عدم استقرار الإمدادات المائية الواصلة إلى الهور.

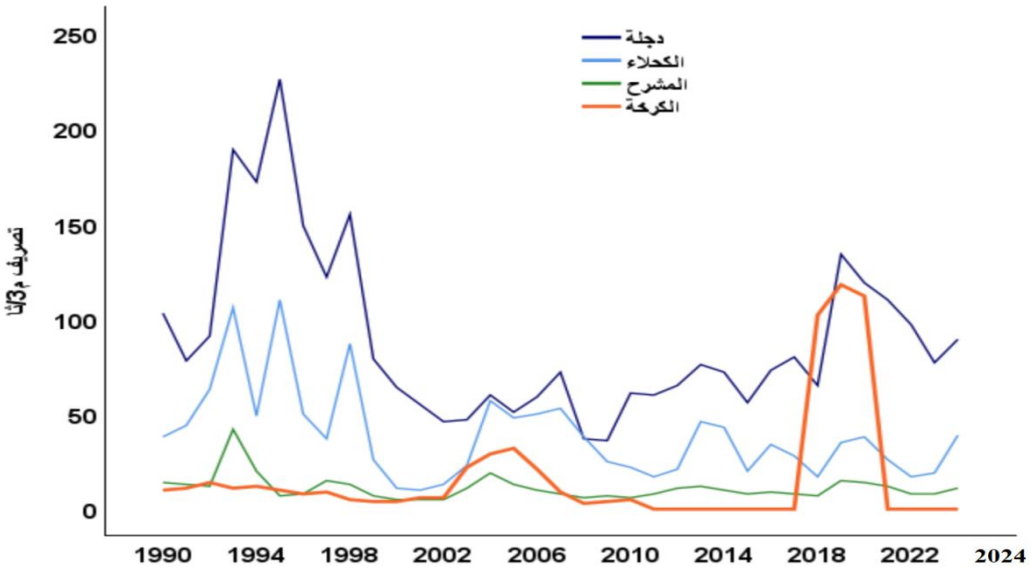
–**تطور تصاريف نهر المشرح:** لقد اتسمت تصاريف نهر المشرح بانخفاضها النسبي مقارنة بدجلة، إذ تراوحت بين 5م³/ثا في أعوام 1999 و2000 و2002، وبلغت أعلى قيمة 42م³/ثا عام 1993، ثم استقرت خلال السنوات الأخيرة بين 11–8م³/ثا . ويشير ذلك إلى محدودية مساهمة النهر في تعويض النقص المائي خلال سنوات الجفاف، رغم أهميته في تغذية أجزاء من الهور.

–**تطور تصاريف نهر الكحلاء :** لقد سجل نهر الكحلاء تذبذبًا واضحًا، إذ بلغت تصاريفه 38م³/ثا عام 1990، وارتفعت إلى 110م³/ثا عام 1995، ثم انخفضت إلى 10م³/ثا عام 2001، قبل أن تستقر عند 39م³/ثا عام 2024. ويعكس هذا السلوك تأثر النهر بالتغيرات السنوية في الإطلاقات المائية والظروف المناخية.

–**تطور تصاريف نهر الكرخة:** يُعد نهر الكرخة أحد أهم المصادر التاريخية لتغذية الجانب الشرقي من هور الحويزة. وتشير بيانات إلى ارتفاع تصريفه من 10م³/ثا عام 1990 إلى 118م³/ثا عام 2019، وهو أعلى تصريف سجلته مدة الدراسة، قبل أن ينخفض إلى 81م³/ثا عام 2021(جدول1)، مع عدم توفر بيانات لاحقة نتيجة تغير ظروف الإطلاقات المائية. ويعكس

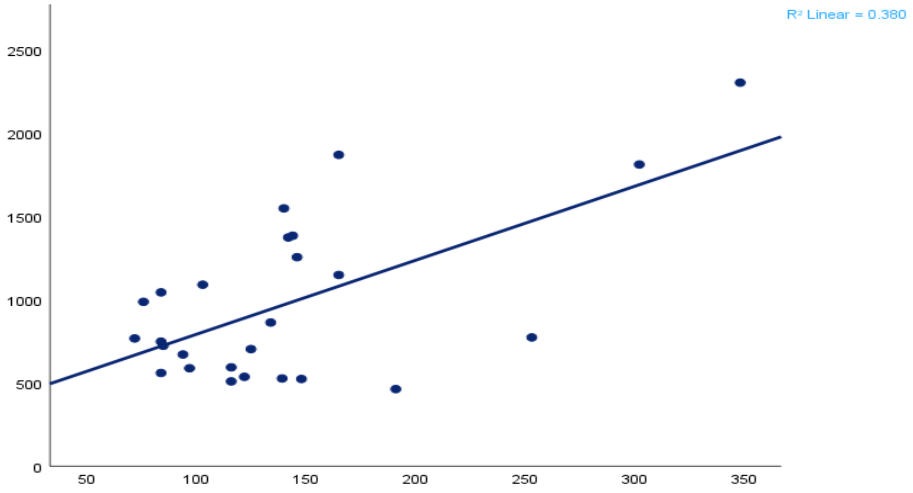
هذا التغير تأثير الإدارة المائية في الحوض، ولا سيما بعد إنشاء السدة الترابية، التي حدّت من وصول الإطلاقات الاعتيادية إلى هور الحويزة، وأصبح وصول المياه مرتبطًا بصورة أكبر بحدوث الفيضانات الاستثنائية(شكل1و2)

شكل 1 تصاريف الانهار المغذية لهور الحويزة م^3/ثا للمدة 1990–2024



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على (جدول 1) وبرنامجIBM SPSS Statistics

شكل2 علاقة الارتباط بين مجموع التصاريف م^3/ثا المغذية لهور الحويزة ومساحة الغمر كم^2 للمدة 1990-2024



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على (جدول 1) وبرنامجIBM SPSS Statistics

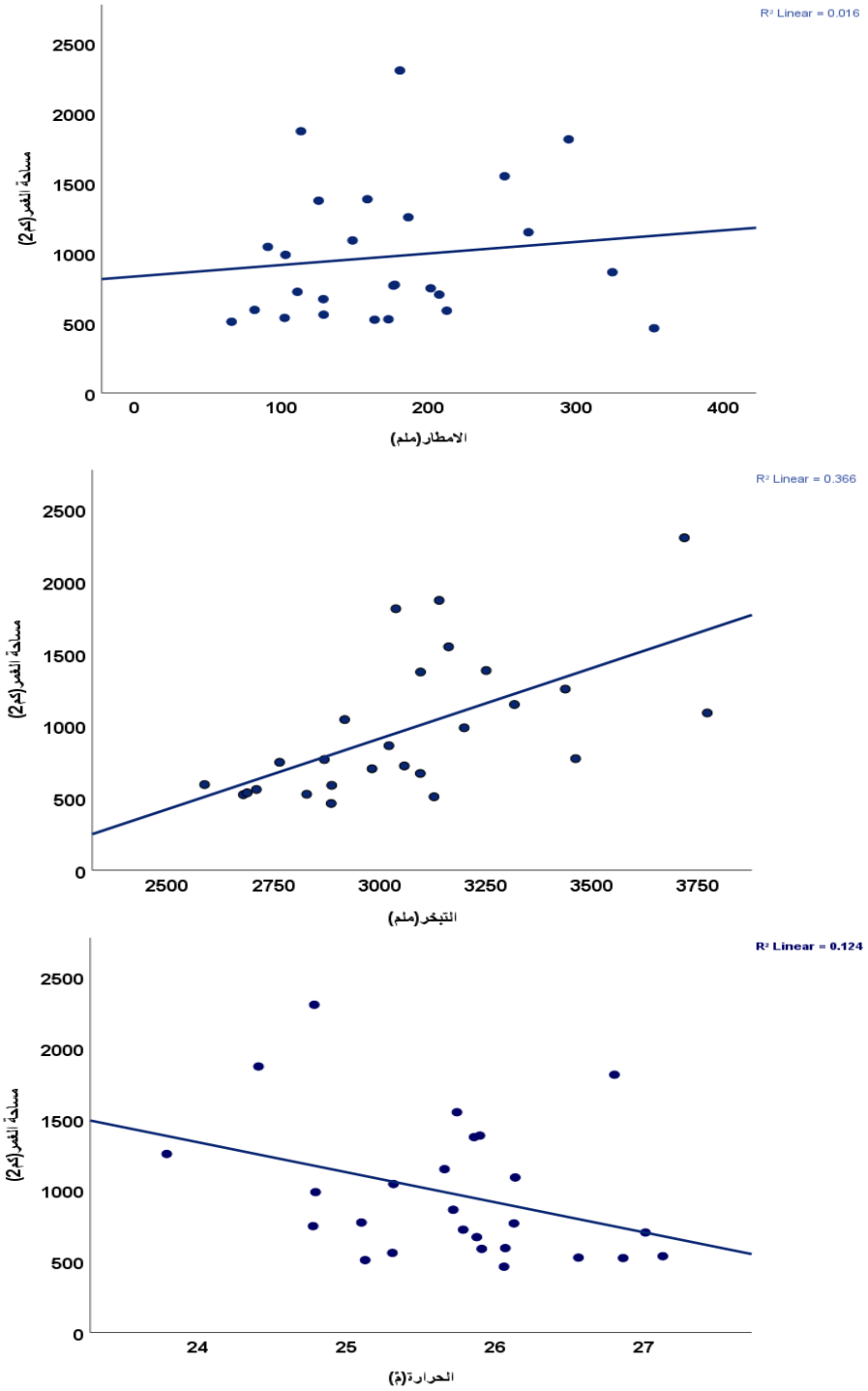
– **اتجاهات درجة الحرارة:** لقد بينت الدراسة وجود اتجاه عام نحو ارتفاع متوسط درجات الحرارة، إذ ارتفع المتوسط السنوي من 24.4°م عام 1990 إلى 26.6°م عام 2024، مع تسجيل أعلى قيمة بلغت 27.1°م عام 2022(جدول1). ويؤدي هذا الارتفاع إلى زيادة التبخر وتقليص كفاءة الخزن المائي، وهو ما ينسجم مع الاتجاهات المناخية المسجلة في جنوب العراق.

– **اتجاهات الأمطار:** تشير البيانات إلى تذبذب واضح في كميات الأمطار، إذ بلغت 113.1ملم عام 1990، وانخفضت إلى 66.0ملم عام 2017، في حين سجلت أعلى قيمة 352.9ملم عام 2018. ويبين هذا التباين الطبيعة غير المنتظمة للأمطار في منطقة الدراسة، وعدم إمكانية الاعتماد عليها بوصفها مصدرًا ثابتًا لتعويض النقص في الموارد المائية السطحية.

–**اتجاهات التبخر:** أظهرت النتائج أن التبخر سجل قيمًا مرتفعة طوال مدة الدراسة، إذ بلغ 3140.4ملم عام 1990، وارتفع إلى 3935.5ملم عام 1992، ثم انخفض تدريجيًا إلى 2828ملم عام 2024. ورغم هذا الانخفاض النسبي، بقيت معدلات التبخر مرتفعة مقارنة بكميات الأمطار، مما يعكس استمرار العجز المائي في منطقة الدراسة.(شكل3)

3.2. العلاقة بين المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية: لقد بينت نتائج التحليل إلى وجود علاقة مباشرة بين تصاريف الأنهار ومساحة الغمر، في مقابل علاقة عكسية مع درجات الحرارة والتبخر. فقد تزامنت زيادة تصاريف نهر الكرخة إلى 118م³/ثا عام 2019 مع ارتفاع مساحة الغمر إلى 1814كم²، في حين ارتبط انخفاض التصاريف خلال السنوات اللاحقة بتراجع مساحة الغمر إلى 524كم² عام 2021 و 527كم² عام 2024(جدول1)(شكل4) وتشير هذه النتائج في اطار العلاقة الإحصائية أن الإطلاقات المائية تمثل العامل الأكثر ارتباط بمساحة الغمر، بينما تسهم العوامل المناخية في تعزيز أو تقليص هذا التأثير تبعًا لدرجة الحرارة ومعدلات التبخر.

شكل 3 علاقة الارتباط بين الأمطار والتبخر والحرارة ومساحة الغمرفي هور الحويزة خلال المدة 1990–2024



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الدراسة وبرنامجIBM SPSS Statistics

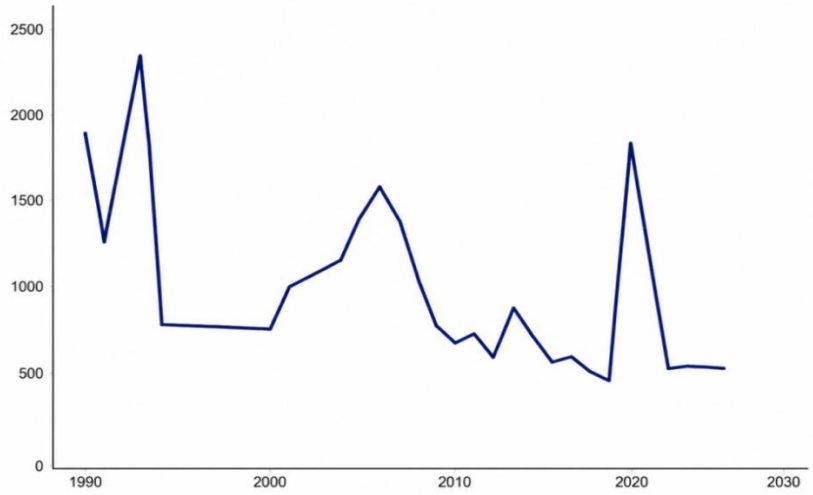
جدول 1 السلاسل الزمنية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية ومساحة الغمر في هور الحويزة خلال المدة 1990–2024

السنة	دجلة م³/ثا	المشرح م³/ثا	الكحلاء م³/ثا	الكرخة م³/ثا	معدل الحرارة	مجموع الامطار	مجموع التبخر	مساحة الغمر كم²
1990	103	14	38	10	24.4	113.1	3140	1872
1991	78	13	44	11	23.8	186.0	3438	1257
1992	91	12	63	14	24.5	190.9	3936	-
1993	189	42	106	11	24.8	180.3	3719	2306
1994	172	20	49	12	25.1	176.8	3462	774
1995	226	7	110	10	24.7	124.8	3414	-
1996	149	8	50	8	23.4	324.1	3492	-
1997	122	15	37	9	24.4	253.1	3430	-
1998	155	13	87	5	25.3	210.8	2819	-
1999	79	7	26	4	24.9	328.2	3192	-
2000	64	5	11	4	24.8	201.2	2764	749
2001	55	5	10	6	24.8	102.6	3199	988
2002	46	5	13	6	26.0	78.2	3261	-
2003	47	11	23	22	26.1	148.1	3773	1091
2004	60	19	57	29	25.7	267.6	3318	1150
2005	51	13	48	32	25.9	158.2	3251	1386
2006	59	10	50	21	25.7	251.4	3163	1550
2007	72	8	53	9	25.9	125.1	3096	1375
2008	37	6	38	3	25.3	90.6	2918	1045
2009	36	7	25	4	26.1	175.9	2870	768
2010	61	6	22	5	25.9	128.3	3096	671
2011	60	8	17	3	25.8	110.7	3058	724
2012	65	11	21	3	25.9	212.1	2887	589
2013	76	12	46	3	25.7	324.6	3022	864
2014	72	10	43	3	27.0	207.0	2982	704
2015	56	8	20	8	25.3	128.5	2709	560
2016	73	9	34	12	26.1	81.6	2587	594
2017	80	8	28	51	25.1	66.0	3128	509
2018	65	7	17	102	26.1	352.9	2886	463
2019	134	15	35	118	26.8	294.9	3038	1814
2020	119	14	38	112	26.4	190.1	2984	-
2021	110	12	26	81	26.9	163.1	2678	524
2022	97	8	17	-	27.1	102.0	2688	537
2023	77	8	19	-	26.4	104.3	3017	-

527	2828	172.5	26.6	-	39	11	89	2024

المصدر: عمل الباحث 1-(وزارة الموارد المائية، 2025) 2- (وزارة النقل، 2025) 3-(الاسدي، 2013) 4-(الغالبي، 2024)

شكل 4 التغير الزمني لمساحة الغمر في هور الحويزة خلال المدة 1990–2024



المصدر:عمل الباحث بالاعتماد على (جدول1) وبرنامجIBM SPSS Statistics

3.3.نتائج الانحدار الخطي البسيط بين مساحة الغمر والمتغيرات المناخية والهيدرولوجية

يتضح من نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط وجود تباين في قوة واتجاه العلاقة بين مساحة الغمر والمتغيرات المدروسة. فقد سجلت الأمطار أضعف علاقة طردية مع مساحة الغمر($R^2 = 0.016$) ، في حين أظهرت درجة الحرارة علاقة عكسية ضعيفة($R^2 = 0.124$) ، مما يشير إلى محدودية تأثيرها المباشر في تفسير التغيرات في مساحة الغمر. في حين، بلغت قيم معاملات التحديد (R^2) لكل من التبخر ومجموع تصاريف الأنهار المغذية (0.366) و(0.380) على التوالي(جدول2)، مما يعكس وجود علاقة متوسطة القوة. وتشير هذه النتائج إلى أن العلاقة الإحصائية بين مساحة الغمر ومجموع تصاريف الأنهار المغذية والتبخر كانت أقوى نسبيًا من العلاقة مع الأمطار ودرجة الحرارة، دون أن تعني هذه النتائج إثبات تأثير سببي مباشر لهذه المتغيرات في مساحة الغمر.

جدول 2 ملخص نتائج الانحدار الخطي البسيط بين مساحة الغمر والمتغيرات المناخية والهيدرولوجية في هور الحويزة خلال المدة 1990–2024

المتغير	R^2معامل التحديد	اتجاه العلاقة	درجة قوة العلاقة
الأمطار	0.016	طردية	ضعيفة جدًا
درجة الحرارة	0.124	عكسية	ضعيفة
التبخر	0.366	طردية	متوسطة
مجموع تصاريف الانهار المغذية	0.38	طردية	متوسطة

المصدر:عمل الباحث بالاعتماد برنامجIBM SPSS Statistics

3.4. تقييم أداء نموذج الانحدار المتعدد لبناء السيناريوهات المستقبلية

تُميّز الدراسة بين التنبؤ الإحصائي والسيناريوهات المستقبلية المشروطة بفرضيات هيدرولوجية ومناخية محددة وتُعد عملية تقييم أداء النموذج الإحصائي خطوةً أساسية قبل الاعتماد عليه في بناء السيناريوهات المستقبلية، إذ إن موثوقية التنبؤات ترتبط بدرجة كفاءة النموذج في تفسير العلاقة بين المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية المؤثرة في مساحة الغمر. ولتحقيق ذلك، جرى توظيف نموذج الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) بعد استكمال تحليل السلاسل الزمنية للمتغيرات المدخلة، بهدف اختبار قدرة النموذج على تفسير التغيرات في مساحة الغمر لهور الحويزة وتحديد أهم المتغيرات المؤثرة فيها. واعتمد تقييم النموذج على مجموعة من المؤشرات الإحصائية شملت جودة نماذج السلاسل الزمنية، ومعاملات الانحدار، ومؤشرات جودة النموذج، وتحليل التباين(ANOVA) ، والانحدار التدريجي(Stepwise Regression) ، بما يضمن بناء سيناريوهات مستقبلية تستند إلى أساس إحصائي موثوق(Montgomery et al., 2021: 314)

3.5.تقييم جودة نماذج السلاسل الزمنية للمتغيرات المدخلة

أظهرت نماذج السلاسل الزمنية تباينًا في كفاءتها وفقًا لطبيعة المتغيرات المدروسة. فقد كان نموذج Brownالأنسب لتصريف نهر الكرخة، محققًا أعلى معامل تحديد ($R^2 = 0.866$) مع انخفاض قيم RMSEو MAE وNormalized BIC مما يدل على كفاءة تنبؤية مرتفعة. كما أظهر نموذج Holtالمستخدم لمتوسط درجة الحرارة أداءً عاليًا، إذ بلغ $R^2 = 0.648$ و$R^2 = 0.797$ Stationary، وسجل أدنى نسبة خطأ(MAPE = 1.565%) ، مما يعكس استقرار السلسلة الزمنية. في المقابل، انخفضت القدرة التفسيرية لنموذجي تصاريف المشرح والكحلاء ($R^2 = 0.163$ و 0.102)نتيجة تذبذب التصاريف وتأثرها بعوامل تشغيلية ومناخية، بينما أظهرت الأمطار أدنى قدرة تفسيرية ($R^2 = 0$) بسبب طبيعتها العشوائية. أما نموذج مساحة الغمر فقد أظهر قدرة تفسيرية متوسطة($R^2 = 0.351$) (جدول3)نتيجة استجابته المشتركة للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية. كما أظهرت نتائج اختبار Ljung–Box استقلالية بواقي معظم النماذج مما يدعم صلاحيتها للتنبؤ، باستثناء الأمطار ومساحة الغمر اللتين تتطلب نتائجهما قدراً أكبر من الحذر عند تفسير السيناريوهات المستقبلية . وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار

إليه Hyndmanو Athanasopoulosبشأن ضرورة الاعتماد على مجموعة متكاملة من مؤشرات الأداء عند تقييم نماذج السلاسل الزمنية(Hyndman & Athanasopoulos, 2021: 210) .

جدول 3 مؤشرات جودة نماذج التنبؤ الزمني (Time Series Model Performance) للمتغيرات المستخدمة في بناء سيناريوهات هور الحويزة

المتغير	نوع النموذج	معامل التحديد (R^2)	معامل التحديد المستقرStationary R^2	الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأRMSE	متوسط نسبة الخطأ المطلق MAP(%) (%) E	متوسط الخطأ المطلق MAE	معيار بيزي المطبع BIC)Normalized BIC	الدلالة الإحصائية للنموذج Sig.) Ljung-Box
تصريف دجلة	Simple	0.487	0.051	31.967	24.277	21.638	7.031	0.965
تصريف المشرح	ARIMA(0,0,1)	0.163	0.258	6.088	28.998	3.201	3.816	1
تصريف الكحلاء	Simple	0.102	0.273	22.708	67.735	18.355	6.347	0.336
تصريف الكرخة	Brown	0.866	-0.008	12.041	43.728	7.125	5.085	0.525
متوسط الحرارة	Holt	0.648	0.797	0.538	1.565	0.398	-1.037	0.582
مجموع الأمطار	ARIMA(0,0,0)	0	0	78.517	42.245	61.938	8.828	0.027
مجموع التبخر	Holt	0.439	0.734	243.798	5.455	168.713	11.196	0.279
مساحة الغمر	Holt	0.351	0.132	402.439	32.091	295.077	12.246	0.014

ملاحظة: تم اعتماد النموذج الذي حقق أفضل مؤشرات جودة (R^2، RMSE، MAPE، BIC) لكل متغير في بناء التنبؤات المستقبلية.

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على برنامج IBM SPSS Statistics

3.6.معاملات نموذج الانحدار المتعدد(Coefficients)

أظهرت معاملات نموذج الانحدار المتعدد تباينًا في اتجاه وقوة تأثير المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية في مساحة الغمر بهور الحويزة فقد سجل تصريف نهر الكحلاء أعلى معامل انحدار معياري(Beta = 0.504) ، يليه التبخر(Beta = 0.264) ، في حين بلغت قيمة معامل بيتا لتصريف دجلة والمشرح 0.025 و 0.002على التوالي، بينما اتخذ متوسط درجة الحرارة اتجاهًا سالبًا (Beta = −0.135) بما يعكس أثر ارتفاع درجات الحرارة في زيادة الفواقد المائية وتراجع مساحة الغمر. كما أظهرت معاملات الانحدار غير المعيارية تأثيرًا موجبًا لتصاريف الأنهار، ولاسيما الكحلاء (B = 12.397) ودجلة(B = 0.331) ، مقابل تأثير سلبي لدرجة الحرارة) (B = −80.973) ومن ناحية أخرى، أوضحت قيم الدلالة الإحصائية أن جميع المتغيرات جاءت أعلى من مستوى المعنوية(Sig. > 0.05) (جدول4)، إذ تراوحت بين(0.106–0.996) ، مما يدل على أن تأثير كل متغير منفردًا لم يكن معنويًا إحصائيًا ضمن النموذج، وأن تفسير التغير في مساحة الغمر يعتمد على التأثير التكاملي للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية أكثر من اعتماده على أي متغير منفرد. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Hair et al. من أن تفسير معاملات الانحدار ينبغي أن يتم بالاستناد إلى النموذج الإحصائي ككل، وليس إلى معاملات المتغيرات منفردة (Hair et al., 2019: 316).وتنسجم هذه النتيجة مع المبادئ الإيكوهيدرولوجية التي تؤكد أن استجابة الأراضي الرطبة تمثل محصلة التفاعل بين الإيرادات المائية والفواقد المناخية، ولا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة(Mitsch & Gosselink, 2015: 124)

جدول 4 معاملات نموذج الانحدار الخطي المتعدد لتفسير التغير في مساحة الغمر في هورالحويزة

المتغير المستقلة والثابتة	معامل الانحدار غير المعياري (B)	الخطأ المعياري (Std. Error)	معامل الانحدار المعياري (Beta)	قيمة اختبار t	مستوى الدلالة الاحصائية(Sig.)
الثابت(Constant)	1283.335	3033.296	—	0.423	0.677
تصريف دجلة	0.331	3.336	0.025	0.099	0.922
تصريف المشرح	0.16	28.204	0.002	0.006	0.996
تصريف الكحلاء	12.397	7.332	0.504	1.691	0.106
معدل الحرارة	-80.973	98.245	-0.135	-0.824	0.42
مجموع التبخر	0.427	0.332	0.264	1.287	0.213
ملاحظة :يمثل Constantالجزء الثابت في معادلة الانحدار، ولا يحمل تفسيرًا هيدرولوجيًا مباشرًا.					

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على (جدول1)وIBM SPSS Statistics

3.7.جودة النموذج الإحصائي(Model Summary)

أظهرت مؤشرات جودة نموذج الانحدار المتعدد قدرة تفسيرية متوسطة في تفسير التغيرات التي تطرأ على مساحة الغمر في هور الحويزة فقد بلغ معامل الارتباط المتعدد($R = 0.753$) ، مما يدل على وجود ارتباط جيد بين القيم المرصودة والمتوقعة، في حين أوضح معامل التحديد ($R^2 = 0.566$) أن النموذج يفسر 56.6%من التباين في مساحة الغمر، بينما بلغ معامل التحديد المعدل($Adjusted\ R^2 = 0.458$) ، مما يشير إلى احتفاظ النموذج بقدرته التفسيرية بعد تصحيح أثر عدد المتغيرات المستقلة. كما أظهرت قيمة Durbin–Watsonالبالغة (1.847) (جدول5)عدم وجود ارتباط ذاتي مؤثر بين بواقي النموذج، وهو ما يدعم استيفاء أحد الافتراضات الأساسية لنماذج الانحدار الخطي. أما الخطأ المعياري للتقدير، فيمثل متوسط مقدار الخطأ بين القيم المرصودة والقيم المقدرة بالنموذج، مما يعكس تقارب القيم المقدرة من القيم المرصودة. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه .Montgomery et alمن أن الاعتماد على مؤشرات R^2و Adjusted R^2والخطأ المعياري، إلى جانب اختبارات تشخيص النموذج، يوفر أساسًا علميًا لتقييم أداء نماذج الانحدار وتفسير قدرتها على تمثيل التباين في المتغير التابع (Montgomery et al., 2021: 128, 136).

جدول5 مؤشرات جودة نموذج الانحدار

المؤشر	تفسير المؤشرات	القيمة
معامل الارتباط (R)	**درجة الارتباط بين القيم الحقيقية والمتوقعة.**	**0.753**
معامل التحديد (R^2)	**نسبة تفسير النموذج للتغير في مساحة الغمر.**	**0.566**
معامل التحديد المعدل (Adjusted R^2)	**لنسبة بعد تصحيح عدد المتغيرات.**	**0.458**
الخطأ المعياري للتقدير Std. Error of Estimate	**يمثل متوسط مقدار الخطأ بين القيم المرصودة والقيم المتنبأ بها، وكلما انخفضت قيمته دلّ ذلك على تحسن دقة النموذج.**	**360.286**
Durbin-Watson	**يقيس استقلالية البواقي (Residuals)، وتشير القيمة الواقعة بين (1.5–2.5) إلى عدم وجود ارتباط ذاتي مؤثر بين الأخطاء**	**1.847**

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج .IBM SPSS Statistics29

3.8.تحليل التباين(ANOVA)

يُستخدم اختبار تحليل التباين (ANOVA) للتحقق من معنوية نموذج الانحدار المتعدد ومدى صلاحيته في تفسير التباين في المتغير التابع،أظهرت نتائج التحليل معنوية النموذج إحصائيًا إذ بلغت قيمة $F = 5.222$عند مستوى دلالة (Sig. = 0.003)وهو أقل من(0.05) (جدول6)مما يؤكد رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة، ويشير إلى وجود تأثير معنوي مشترك للمتغيرات المستقلة في تفسير التباين في مساحة الغمر. وتؤكد هذه النتيجة أن النموذج يتمتع بكفاءة إحصائية تسمح

بالاعتماد عليه في التفسير وبناء السيناريوهات المستقبلية. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Fieldمن أن معنوية اختبار ANOVAتعد دليلًا على صلاحية نموذج الانحدار للتفسير والتنبؤ.(Field, 2018: 412)

جدول 6 نتائج تحليل التباين (ANOVA) لنموذج الانحدار الخطي المتعدد لتفسير التغير في مساحة الغمر في هور الحويزة

المصدر	مجموع المربعات (SS)	درجات الحرية (df)	متوسط المربعات (MS)	قيمة F	مستوى المعنوية (.Sig)
الانحدار (Regression)	3389528.004	5	677905.601	5.222	0.003
البواقي (Residual)	2596124.801	20	129806.240	—	—
المجموع الكلي (Total)	5985652.805	25	—	—	—
ملاحظة :تشير قيمة (Sig. = 0.003) إلى معنوية نموذج الانحدار إحصائيًا عند مستوى (0.05)، مما يؤكد صلاحيته للتفسير والتنبؤ.					

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج IBM SPSS Statistics29.

3.9.الانحدار المتدرج(Stepwise Regression)

يُستخدم الانحدار المتدرج (Stepwise Regression) لتحديد المتغيرات المستقلة الأكثر إسهامًا إحصائيًا في تفسير التباين في المتغير التابع، من خلال إدخال المتغيرات واستبعادها وفق معايير إحصائية محددة. أظهرت النتائج احتفاظ النموذج بتصريف نهر الكحلاء بوصفه المتغير المستقل الوحيد في النموذج، إذ بلغ معامل الارتباط(R = 0.690) ، ومعامل التحديد = (R^2) (0.476، وقيمة (F = 21.791 عند مستوى دلالة (Sig. < 0.001) (جدول 7)، مما يدل على معنوية النموذج وقدرته على تفسير 47.6% من التباين في مساحة الغمر. وتشير هذه النتيجة إلى أن تصريف نهر الكحلاء كان المتغير الأكثر إسهامًا إحصائيًا ضمن المتغيرات المدخلة وفق معيار الاختيار المستخدم في نموذج الانحدار المتدرج، ولا تعني بالضرورة إثبات علاقة سببية مستقلة أو أنه العامل الهيدرولوجي الوحيد المسؤول عن تغير مساحة الغمر. واستُخدمت هذه النتيجة بوصفها مؤشرًا إحصائيًا مساعدًا في تفسير العلاقة بين المتغيرات وبناء السيناريوهات المستقبلية، إلى جانب نتائج نموذج الانحدار المتعدد وبقية المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية وفرضيات السيناريوهات. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Hair et al. و Mishra & Singhبشأن استخدام الانحدار المتدرج في تحديد المتغيرات الأكثر إسهامًا إحصائيًا ضمن المتغيرات المدخلة (Hair et al., 2019: 328–330; Mishra & Singh, 2010: 241).

جدول 7 نتائج الانحدار التدريجي (Stepwise Regression) لتحديد أكثر المتغيرات تأثيراً في مساحة الغمر في هور الحويزة

النموذج	المتغير الذي احتفظ به البرنامج	R	R^2	قيمة F	مستوى المعنوية
Model 1	**Kahlaa Discharge**	**0.690**	**0.476**	**21.791**	**<0.001**

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج .IBM SPSS Statistics29

3.10.السيناريو المرجعي(Business as Usual Scenario)

يمثل السيناريو المرجعي (Business as Usual) خط الأساس للتوقعات المستقبلية، إذ يفترض استمرار الظروف الهيدرولوجية والمناخية الحالية دون تغيرات جوهرية في إدارة الموارد المائية أو الإيرادات المائية المغذية لهور الحويزة، اعتمادًا على الاتجاهات التاريخية للمدة (1990–2024)، ويُستخدم مرجعًا لمقارنة نتائج السيناريوين المتفائل والمتشائم(IPCC, 2023: 2؛ Ramsar, 2018: 61)تشير نتائج السيناريو المرجعي إلى استمرار التراجع التدريجي في مساحة الغمر خلال المدة (2025–2034)إذ تنخفض من 524.3كم² عام 2025إلى 249.1كم² عام 2034، أي بنسبة تقارب 52% (جدول8) ويرتبط هذا الاتجاه باستمرار انخفاض تصاريف الأنهار المغذية، إذ يستقر تصريف دجلة عند 88م³/ثا، والمشرح عند 11.09م³/ثا، والكحلاء عند 28.38م³/ثا، مع تراجع تصريف الكرخة من 8إلى 4م³/ثا، بالتزامن مع ارتفاع متوسط درجة الحرارة من 26.82إلى °27.46م، وانخفاض مجموع التبخر من 2743إلى 2547ملم، في حين يبقى مجموع الأمطار شبه ثابت عند 180.73ملم .وتعكس هذه النتائج أن استمرار الإدارة المائية الحالية لن يكون كافيًا لإيقاف تراجع مساحة الغمر، مما يجعل هذا السيناريو خط الأساس لتقييم فاعلية السيناريوهات البديلة. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه Al-Ansari & Knutsson, (2011: 46) و (Richardson & Hussain 2006: 483)بشأن ارتباط استدامة الأهوار باستمرار التدفقات البيئية والإدارة المتكاملة للموارد المائية.

جدول 8 السيناريوهات المستقبلية لمساحة الغمر والمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية في هور الحويزة وفق السيناريو المرجعي (Business as Usual - BAU) للمدة 2025–2034.

السنة	تصاريف دجلةم³/ثا	تصاريف المشرح م³/ثا	تصاريف الكحلاء م³/ثا	تصاريف الكرخة م³/ثا	معدل الحرارة	مجموع الامطار	مجموع التبخر	مساحة الغمر كم²
2025	88	11.49	28.38	8	26.82	180.73	2743	524.3
2026	88	11.09	28.38	8	26.89	180.73	2721	493.7
2027	88	11.09	28.38	7	26.96	180.73	2699	463.2
2028	88	11.09	28.38	7	27.03	180.73	2678	432.6
2029	88	11.09	28.38	6	27.1	180.73	2656	402
2030	88	11.09	28.38	6	27.17	180.73	2634	371.4
2031	88	11.09	28.38	5	27.25	180.73	2612	340.9
2032	88	11.09	28.38	5	27.32	180.73	2591	310.3
2033	88	11.09	28.38	5	27.39	180.73	2569	279.7
2034	88	11.09	28.38	4	27.46	180.73	2547	249.1

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على(جدول1) و برنامج .IBM SPSS Statistics29

3.11.السيناريو المتشائم(Pessimistic Scenario)

يمثل السيناريو المتشائم الحالة الأكثر حرجًا لمستقبل النظام الهيدرولوجي في هور الحويزة، إذ يفترض استمرار الضغوط الهيدرولوجية والمناخية الحالية، مع غياب التحسن في إدارة الموارد المائية واستمرار انقطاع الإطلاقات المائية من نهر الكرخة، ويُستخدم لتقدير أسوأ النتائج المحتملة خلال المدة(2025–2034) (IPCC, 2023: 2؛Ramsar, 2018: 61) تشير نتائج السيناريو المتشائم إلى استمرار التراجع الحاد في مساحة الغمر إذ تنخفض من 393.24كم² عام 2025إلى 186.86كم² عام 2034، أي بنحو52%(جدول9)ويرتبط هذا الانخفاض بتراجع الإيرادات المائية، إذ يستقر تصريف دجلة عند 70.17 م³/ثا، والمشرح عند 8.87م³/ثا، والكحلاء عند 22.70م³/ثا، مع انقطاع كامل لتصريف الكرخة 0 م³/ثا طوال مدة التنبؤ، بالتزامن مع ارتفاع متوسط درجة الحرارة من 27.82إلى °28.46م، وثبات مجموع الأمطار عند 153.62ملم، وانخفاض مجموع التبخر من 3154إلى 2929ملم نتيجة تقلص المسطح المائي. وتوضح هذه النتائج أن استمرار تراجع التدفقات المائية، ولا سيما انقطاع تغذية نهر الكرخة، يمثل العامل الرئيس في تدهور النظام الهيدرولوجي، بما يحد من فرص استعادة الهور ويزيد من احتمالية تحول أجزاء واسعة منه إلى أراضٍ موسمية الغمر أو جافة. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه (Richardson &H,2006) و(UNEP, 2001) و (Al-Ansari et al, 2018)بشأن أن انخفاض التغذية المائية، مقترنًا بالضغوط المناخية، يعد المحرك الرئيس لتدهور هور الحويزة.

جدول9 السيناريو المتشائم للتغيرات المستقبلية في مساحة الغمر والمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية في هور الحويزة للفترة 2025–2034.

السنة	دجلة م³/ثا	المشرح م³/ثا	الكحلاء م3/ثا	الكرخة م³/ثا	معدل الحرارة	مجموع الامطار	مجموع التبخر	مساحة الغمركم²
2025	70.17	9.19	22.7	0	27.82	153.62	3154	393.24
2026	70.17	8.87	22.7	0	27.89	153.62	3129	370.31
2027	70.17	8.87	22.7	0	27.96	153.62	3104	347.38
2028	70.17	8.87	22.7	0	28.03	153.62	3079	324.44
2029	70.17	8.87	22.7	0	28.1	153.62	3054	301.51
2030	70.17	8.87	22.7	0	28.17	153.62	3029	278.58
2031	70.17	8.87	22.7	0	28.25	153.62	3004	255.65
2032	70.17	8.87	22.7	0	28.32	153.62	2979	232.72
2033	70.17	8.87	22.7	0	28.39	153.62	2954	209.78
2034	70.17	8.87	22.7	0	28.46	153.62	2929	186.86
نسبة الانخفاض %	-20%	-20%	-20%	-100%	+1%	-15%	+15%	-25%
ملاحظة: يفترض السيناريو المتشائم انقطاع تصاريف نهر الكرخة بسبب السدة الترابية لذا اعتُمدت قيمة (0 م³/ثا) طوال مدة التنبؤ.								

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج IBM SPSS Statistics29.

3.12.السيناريو المتفائل(Optimistic Scenario)

يُعدّ السيناريو المتفائل أفضل الظروف المحتملة لاستعادة النظام الهيدرولوجي في هور الحويزة، إذ يفترض تحسن إدارة الموارد المائية، وزيادة الإطلاقات المائية من الأنهار المغذية، مع انخفاض نسبي في الفواقد بالتبخر، مع بقاء درجات الحرارة ضمن اتجاهها التصاعدي المتوقع، فضلًا عن حدوث فيضانات استثنائية متباعدة زمنيًا في حوض نهر الكرخة تسمح بوصول كميات إضافية من المياه إلى الهور خلال المدة (2025–2034) (IPCC, 2023: 2; Ramsar, 2018: 97) وتشير نتائج السيناريو المتفائل إلى تحقيق أفضل استجابة هيدرولوجية بين السيناريوهات الثلاثة، إذ تبلغ مساحة الغمر 629.18 كم² عام 2025، قبل أن تنخفض تدريجيًا إلى 298.97 كم² عام 2034، مع بقائها أعلى من نظيرتها في السيناريوين المرجعي والمتشائم. ويقترن ذلك بارتفاع تصريف نهر دجلة إلى 100.9 م³/ثا، والمشرح إلى 13.21 م³/ثا، واستقرار تصريف الكحلاء عند 32.64 م³/ثا، إلى جانب حدوث فيضانين استثنائيين في نهر الكرخة بلغت تصاريفهما 110 م³/ثا خلال عامي 2029 و2034. وعلى المستوى المناخي، يحافظ مجموع الأمطار على قيمة ثابتة تبلغ 198.8 ملم ضمن معطيات السيناريو، في حين يرتفع متوسط درجة الحرارة تدريجيًا من 26.32°م عام 2025 إلى 26.96°م عام 2034، بينما ينخفض مجموع التبخر من 2468.5 إلى 2292.36 ملم، مما يسهم، وفق معطيات السيناريو، في الحد من الفواقد المائية وتحسين الميزان المائي (جدول 10). وتوضح هذه النتائج أن تحسن الاستجابة الهيدرولوجية للهور يرتبط أساسًا بتكامل زيادة الإيرادات المائية وتحسين إدارة الموارد المائية، مع مساهمة انخفاض الفواقد بالتبخر وحدوث الفيضانات الاستثنائية في تعزيز مساحة الغمر، دون أن يعني ذلك عودة الجريان

المستمر إلى الهور. وتتفق أهمية التدفقات البيئية والفيضانات الطبيعية في دعم استعادة وظائف الأراضي الرطبة مع ما أشار إليه(Mitsch & Gosselink, (2015: 614 و(Ramsar (2018: 97، و(Junk et al. 1989: 127) و Richardson & Hussain, (2006: 484).

جدول 10 السيناريو المتفائل للتغيرات المستقبلية في مساحة الغمر والمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية في هور الحويزة للمدة 2025–2034.

السنة	دجلة م³/ثا	المشرح م³/ثا	الكحلاء م3/ثا	الكرخة م³/ثا	معدل الحرارة	مجموع الامطار	مجموع التبخر	مساحة الغمركم²
2025	100.9	13.21	32.64	0	26.32	198.8	2468.5	629.18
2026	100.9	12.75	32.64	0	26.39	198.8	2448.94	592.49
2027	100.9	12.75	32.64	0	26.46	198.8	2429.36	555.8
2028	100.9	12.75	32.64	0	26.53	198.8	2409.8	519.11
2029	100.9	12.75	32.64	110	26.6	198.8	2390.22	482.41
2030	100.9	12.75	32.64	0	26.67	198.8	2370.65	445.73
2031	100.9	12.75	32.64	0	26.75	198.8	2351.08	409.03
2032	100.9	12.75	32.64	0	26.82	198.8	2331.5	372.35
2033	100.9	12.75	32.64	0	26.89	198.8	2311.94	335.65
2034	100.9	12.75	32.64	110	26.96	198.8	2292.36	298.97
نسبة الزيادة%	+15%	+15%	+15%	متغير	-5%	+10%	-10%	+20%
ملاحظة:يفترض السيناريو المتفائل حدوث فيضانات استثنائية متباعدة زمنياً في حوض نهر الكرخة تؤدي إلى تجاوز السدة الترابية ووصول إطلاقات مائية إلى هور الحويزة. كما حصل عام 2019.								

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نماذج برنامج IBM SPSS Statistics29.

3.13.مقارنة السيناريوهات المستقبلية لاستعادة النظام الهيدرولوجي في هور الحويزة

تمثل مقارنة السيناريوهات المستقبلية أداة لتقييم استجابة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة للتغيرات المحتملة في الموارد المائية والظروف المناخية، وتحديد المسارات الأكثر احتمالًا لإستعادة مساحة الغمر.(IPCC, 2023: 18) تُظهر نتائج المقارنة وجود فروق واضحة بين السيناريوهات الثلاثة خلال المدة (2025–2034)، ففي عام 2025 بلغت مساحة الغمر 629.18 كم² في السيناريو المتفائل، مقابل 524.30 كم² في السيناريو المرجعي و393.24 كم² في السيناريو المتشائم، بينما انخفضت عام 2034 إلى 298.97 و249.10 و186.86 كم² على التوالي (جدول11)(شكل5). ورغم اتجاه السيناريوهات جميعها نحو تراجع مساحة الغمر، فقد اختلفت معدلات الانخفاض تبعًا لاختلاف التدفقات المائية والظروف المناخية، مما يؤكد حساسية الهور للتغيرات في التغذية المائية. ويعكس السيناريو المرجعي استمرار الاتجاهات الحالية، بينما يُظهر السيناريو المتشائم أثر انخفاض التدفقات، ولا سيما انقطاع تصاريف نهر الكرخة، مقترنًا بارتفاع درجات الحرارة، في حين حقق السيناريو المتفائل أفضل النتائج نتيجة تحسن التدفقات المائية، وانخفاض الفواقد بالتبخر، وحدوث فيضانات استثنائية في حوض الكرخة، مما أسهم في زيادة

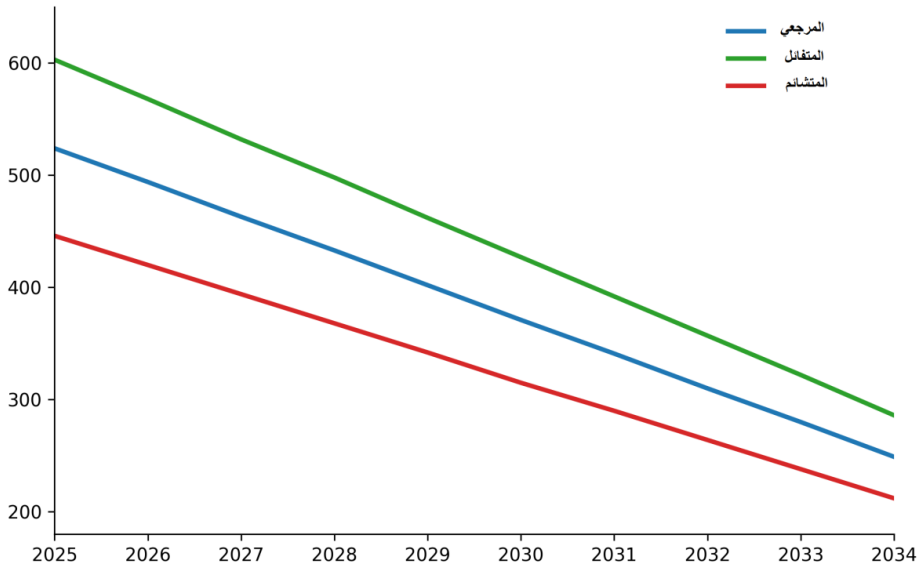
مساحة الغمر. وتتفق هذه النتائج مع مفهوم النبضة الفيضية (Flood Pulse Concept)الذي يؤكد أهمية الفيضانات الدورية في استدامة الأراضي الرطبة(Junk et al., (1989: 117 ، كما تنسجم مع ما توصل إليه (Richardson & Hussain, 2006: 484)بشأن الدور الحاسم لاستمرار التدفقات البيئية والإدارة المتكاملة للموارد المائية في استعادة الأهوار. وبناءً على ذلك، جاء السيناريو المتفائل في المرتبة الأولى من حيث دعم استعادة النظام الهيدرولوجي، يليه السيناريو المرجعي، ثم السيناريو المتشائم.

جدول11السيناريوهات المستقبلية المتوقعة لمساحة الغمر في هور الحويزة خلال المدة 2025–2034

السنة	السيناريو المرجعي	السيناريو المتفائل	السيناريو المتشائم
2025	524.30	629.18	393.24
2026	493.70	592.49	370.31
2027	463.20	555.80	347.38
2028	432.60	519.11	324.44
2029	402.00	482.41	301.51
2030	371.40	445.73	278.58
2031	340.90	409.03	255.65
2032	310.30	372.35	232.72
2033	279.70	335.65	209.78
2034	249.10	298.97	186.86

المصدر:من عمل الباحث بالاعتماد على (جدول8و9و10)وبرنامجIBM SPSS Statistics29

شكل 5 سيناريوهات التغير المتوقع في مساحة الغمر في هور الحويزة خلال المدة 2025–2034.



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على (جدول 11)

أظهرت نتائج الدراسة أن استعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة تحكمها العلاقة التفاعلية بين العوامل الهيدرولوجية والمناخية ، إذ لا تستجيب مساحة الغمر لمتغير منفرد، وإنما للمحصلة التراكمية للتدفقات المائية ودرجات الحرارة والأمطار والتبخر، إلى جانب إدارة الموارد المائية المشتركة. وتنسجم هذه النتيجة مع مفهوم الإدارة المتكاملة للأحواض المائية الذي يؤكد أن استدامة الأراضي الرطبة تعتمد على تكامل العوامل الطبيعية والإدارية.(Mitsch & Gosselink, 2015: 618))، وأظهرت السيناريوهات المستقبلية تفوق السيناريو المتفائل في دعم استعادة مساحة الغمر اذ بلغ 629.18 كم^2 عام 2025، مقابل استمرار التراجع في السيناريوين المرجعي والمتشائم اذ سجلا 524.30كم^2 و393.24كم^2 لنفس السنة على التوالي، مما يؤكد أن التدفقات المائية تمثل العامل الحاكم في استعادة الهور، بينما يؤدي التحسن المناخي دورًا داعمًا يعزز الاستجابة الهيدرولوجية دون أن يعوض نقص الإيرادات المائية(UNEP, 2001: 37)،أن فقدان الأراضي الرطبة عالميًا يرتبط بدرجة أكبر بالتغيرات الهيدرولوجية الناتجة عن الأنشطة البشرية مقارنة بالعوامل المناخية وحدها(Davidson, 2014: 939).كما بينت النتائج أن نهر الكرخة يؤدي دورًا محوريًا في استعادة الجزء الشرقي من الهور، إلا أن تأثيره أصبح مرهونًا بإدارة الموارد المائية داخل الحوض، وهو ما يتوافق مع نتائج(Ahmadi et al., 2021) وينسجم مع ما اكدته (Millennium. E. A., 2005: 25) أن الحفاظ على الوظائف البيئية للأراضي الرطبة يتطلب ضمان استمرارية التدفقات البيئية. كذلك أوضحت الدراسة أن ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الفواقد المائية يسرعان تراجع مساحة الغمر عند انخفاض التدفقات، وهو ما يتفق مع تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC, 2023: 152) ومبادئ اتفاقية رامسار الخاصة بالتدفقات البيئية (Ramsar,2018:101) وتتميز الدراسة الحالية بتقديمها تقييمًا كميًا لثلاثة سيناريوهات مستقبلية اعتمادًا على نمذجة إحصائية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية وربطها مباشرة بالتغير المتوقع في مساحة الغمر، بما يوفر إطارًا علميًا يدعم التخطيط المستقبلي وإدارة الموارد المائية في هور الحويزة. وعليه، فإن استعادة النظام الهيدرولوجي للهور تتطلب تكامل إدارة المياه في الاحواض المشتركة والتكيف مع التغيرات المناخية، بما يعزز استدامة وظائفه البيئية على المدى البعيد.

4.الاستنتاجات والتوصيات: Conclusions and Recommendations

في ضوء نتائج التحليل الإحصائي وبناء السيناريوهات المستقبلية، توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات الآتية:

1-أثبت نموذج الانحدار المتعدد كفاءة إحصائية مناسبة في تفسير العلاقة بين المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية ومساحة الغمر، مما يؤكد صلاحيته لبناء سيناريوهات التوقع المستقبلي لهور الحويزة .

2- أظهر السيناريو المرجعي استمرار التراجع التدريجي في مساحة الغمر، مما يشير إلى أن استمرار أنماط إدارة الموارد المائية الحالية لن يكون كافيًا للحفاظ على استدامة النظام الهيدرولوجي للهور .

3–كشف السيناريو المتشائم أن استمرار انخفاض التدفقات المائية، ولا سيما انقطاع تصاريف نهر الكرخة، مقترنًا بارتفاع درجات الحرارة، يؤدي إلى تسارع تدهور النظام الهيدرولوجي وزيادة مخاطر انحسار مساحة الغمر .

4– بين السيناريو المتفائل أن تحسين إدارة الموارد المائية وتعزيز التدفقات البيئية، إلى جانب تحسن الظروف المناخية، يسهم في زيادة مساحة الغمر ويعزز فرص استعادة النظام الهيدرولوجي، إلا أنه لا يحقق استعادة كاملة للنظام الهيدرولوجي خلال مدة التنبؤ .

5– أثبتت النتائج أن التدفقات المائية تمثل العامل الأكثر تأثيرًا في استعادة هور الحويزة، في حين يؤدي التحسن المناخي دورًا داعمًا لا يمكن أن يعوض نقص الموارد المائية المغذية .

6– أكدت الدراسة استمرار الأهمية الهيدرولوجية لنهر الكرخة، إلا أن دوره في تغذية الهور أصبح مرتبطًا بالأحداث الفيضية الاستثنائية أكثر من ارتباطه بالتدفقات الاعتيادية، نتيجة التغيرات في إدارة الموارد المائية داخل الحوض .

7– أوضحت المقارنة بين السيناريوهات أن السيناريو المرجعي يمثل المسار الأكثر احتمالًا في ظل السياسات الحالية، بينما يمثل السيناريو المتفائل أفضل مسار ممكن عند تحسين الإدارة المائية والتعاون الإقليمي، في حين يعكس السيناريو المتشائم المخاطر المحتملة لاستمرار الضغوط المائية والمناخية .

8– تؤكد الدراسة أن استعادة النظام الهيدرولوجي لهور الحويزة تتطلب إدارة متكاملة للموارد المائية المشتركة، وضمان التدفقات البيئية، والتكيف مع التغيرات المناخية، بما يعزز استدامة وظائفه البيئية على المدى البعيد.

اما التوصيات فقد تضمنت النقاط الآتية:

1–اعتماد مفهوم التدفقات البيئية (Environmental Flows) في إدارة الموارد المائية المغذية لهور الحويزة، بما يضمن توفير الحد الأدنى من المياه اللازمة للحفاظ على وظائفه الهيدرولوجية والبيئية .

2–تعزيز التعاون المائي بين العراق وإيران في إدارة الأحواض المشتركة، ولا سيما حوض نهر الكرخة، بما يحقق توازنًا بين الاستخدامات التنموية والمتطلبات البيئية للأهوار .

3–إعادة تقييم سياسات تشغيل السدود والمنشآت المائية المؤثرة في تغذية هور الحويزة، مع مراعاة الاحتياجات البيئية خلال سنوات الجفاف وانخفاض الإيرادات المائية .

4–تطوير نظام متكامل للرصد الهيدرولوجي والمناخي يعتمد على القياسات الحقلية وتقنيات الاستشعار عن بعد، لمتابعة التغيرات في مساحة الغمر والمؤشرات البيئية بصورة دورية .

5–توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم دعم القرار في تطوير نماذج التنبؤ وبناء سيناريوهات مستقبلية أكثر دقة، بما يدعم التخطيط والإدارة المستدامة للموارد المائية .

6–الإفادة من السيناريوهات المستقبلية التي توصلت إليها الدراسة عند إعداد الخطط الوطنية لاستعادة الأهوار العراقية، وإدماجها ضمن برامج التكيف مع التغير المناخي .

7–تعزيز التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والجهات الحكومية لإجراء تحديثات دورية للسيناريوهات المستقبلية بالاعتماد على البيانات الهيدرولوجية والمناخية المستجدة، بما يضمن تحسين دقة التوقعات .
8–تشجيع الدراسات المستقبلية التي تتناول نمذجة نوعية المياه، والتنوع الأحيائي، والرواسب، ودمجها مع النماذج الهيدرولوجية، وصولًا إلى نموذج متكامل لاستعادة النظام البيئي لهور الحويزة.

قائمة المصادر

المصادر العربية:

1–الأسدي، صفاء عبد الأمير، &معتوق، صفية شاكر. (2013 .(استثمار الإمكانات المتاحة في هور الحويزة لإنشاء المحميات الطبيعية .مجلة آداب البصرة، .(64)

2–الغالبي، محمد قحطان. (2024) .تقييم مدى الإمكانات المائية لاستدامة محمية الصافية .مجلة الخليج العربي، 52.(3)

3–الطائي، سعد عبد الكريم (2016) جغرافية الأهوار العراقية وخصائصها البيئية .بغداد، العراق: دار الشؤون الثقافية.

4–رشيد، مؤيد جاسم. (2008) دراسة جيومورفولوجية ورسوبية لهور الحويزة والمناطق المجاورة له ،أطروحة دكتوراه غير منشورة. كلية العلوم، جامعة بغداد، بغداد، العراق.

5–وزارة النقل. (2025) بيانات مناخية غير منشورة .الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بغداد، العراق.

6–وزارة الموارد المائية. (2021)، بيانات قسم المساحة ونظم معلومات جغرافية .(GIS) مركز إنعاش الأهوار والأراضي الرطبة العراقية، قسم المساحة ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، بغداد، العراق.

7–وزارة الموارد المائية. (2025)،بيانات غير منشورة .المركز الوطني لإدارة الموارد المائية، قسم السيطرة على المياه، بغداد، العراق.

References

1-Ahmadi, M., Morid, S., & Delavar, M. (2021). Integrated water resources management challenges in the Karkheh River Basin under climate and human interventions. Journal of Hydrology, 603, 126905.

2-Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2011). Possibilities of restoring the Iraqi marshes known as the Garden of Eden. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 1(1), 43–58.

3-Al-Ansari, N., Knutsson, S., & Ali, A. (2018). Restoration of the Iraqi Marshes (Mesopotamian Marshes): Challenges and opportunities. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 8(3), 47–66.

4-Alani, M. A., Shen, J., & Koko, A. F. (2022). A comprehensive study of Iraqi marshlands, with the emphasis on the development possibilities. Research Square (Preprint). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1487276/v2

5-Ati, A. S., Ali, A. K., Hussein, H. J., & Majeed, S. S. (2025). Climate change impacts on Iraq's marshes: Al-Huwaizah, Central Marshes and Hammar. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1567, 012034. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1567/1/012034

6-Daggupati, P., Srinivasan, R., Dile, Y. T., & Verma, D. (2017). Hydrological impacts of land use/land cover changes and water management interventions on the Hawizeh Marsh and contributing river basin using the SWAT model. Science of the Total Environment, 575, 280–293.

7-Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research, 65(10), 934–941.

8-Ethaib, S., Fahs, M., Mishbak, H., Fares, M. N., Makki, J. S., Alhello, A..(2023). Water resources in South of Iraq: Current state, future evolutions, challenges, and potential solutions. Hydrology, 10(7), 87. https://doi.org/10.3390/hydrology10070087

9-Finlayson, C. M., Everard, M., Irvine, K., McInnes, R. J., Middleton, B. A., van Dam, A. A., & Davidson, N. C. (2018). The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation. Springer.

10-Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate Data Analysis (8th ed.). Cengage Learning.

11-Hashim, B. M., Sultan, M. A., Attyia, M. N., Al-Maliki, A., & Al-Ansari, N. (2019). Change detection and impact of climate changes to Iraqi southern marshes using Landsat 2 MSS, Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI data and GIS applications. Applied Sciences, 9(10), 2016. https://doi.org/10.3390/app9102016

12-Hussein, A. A. K., & Asal, A. A. (2023). Drying water and its impact on the vital system in the marshes of southern Iraq. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1129, 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012032

13-Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and Practice (3rd ed.). OTexts.

14-Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC.

15-Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 106, 110–127.

16-Khudair, B. H., & Al-Musawi, N. O. A. (2018). Water quality assessment and total dissolved solids prediction using artificial neural network in Al-Hawizeh Marsh, South of Iraq. Journal of Engineering, 24(4), 147–156.

17-Kingsford, R. T., Basset, A., & Jackson, L. (2016). Wetlands: Conservation's poor cousins. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 26(S1), 892–916.

18-Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute.

19-Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391(1–2), 202–216.

20-Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands (5th ed.). John Wiley & Sons.

21-Mohamed, A.-R. M. (2014). Evaluation of fish assemblage environment in Huwazah Marsh, Iraq using Integrated Biological Index. Advances in Agriculture and Biology, 1(3), 105–111.

22-Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). Introduction to Linear Regression Analysis (6th ed.). John Wiley & Sons.

23-Nama, A. H., Alwan, I. A., & Pham, Q. B. (2024). Climate change and future challenges to the sustainable management of the Iraqi marshlands. Environmental Monitoring and Assessment, 196, 35. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12168-8

24-Ramsar Convention Secretariat. (2018). Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and Their Services to People. Gland, Switzerland.

25-Richardson, C. J., & Hussain, N. A. (2006). Restoring the Garden of Eden: An ecological assessment of the marshes of Iraq. BioScience, 56(6), 477–489.

26-United Nations Environment Programme. (2001). The Mesopotamian Marshlands: Demise of an Ecosystem. Nairobi, Kenya: UNEP.