



دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالتغيرات المناخية وتحليل الموارد المائية – دراسة

تطبيقية في العراق

ا.د. حسن خليل حسن المحمود

ا.م.د. ايمن عبداللطيف كويس

م.د. محمد مهدي محمد يحيى الموسوي

مركز علوم البحار – جامعة البصرة – العراق

الباحث المراسل: ا.د. حسن خليل حسن المحمود

الجوال: ٠٧٧٠٥٦٢٤٢٣١

## The Role of Artificial Intelligence in Predicting Climate Change and Analyzing Water Resources – An Applied Study in Iraq

Prof. Hassan K. Hassan AlMahmood Asst. Prof. Aymen A. Qawis Lecturer Muhammad Mahdi Muhammad Yahya

الايمل [h\\_almahmood@yahoo.com](mailto:h_almahmood@yahoo.com)

الخلاصة:

تشهد الموارد المائية في العراق تحولاً خطيراً تحت تأثير عوامل متعددة ومعقدة، يكشف هذا البحث عن أزمة مائية شاملة تتجلى في تراجع حاد في الموارد السطحية والجوفية على حد سواء، تم تطبيق نموذج LSTM للتنبؤ الذكي متعدد المتغيرات و CNN-LSTM الهجين الذي أظهر تفوقاً ملحوظاً في دقة التنبؤ بمعدل ( $R^2 = 0.92$ ) مقارنة بالنماذج التقليدية، مع قدرة على تحسين دقة التنبؤ بنسبة تصل إلى ٣٥٪. تشير النتائج إلى انخفاض ايراد نهر الفرات الداخل الى العراق بنسبة ٦٦.٧٪ وانخفاض ايراد نهر دجلة بنسبة ٥٩.٥٪ للفترة ١٩٣٠ - ٢٠٢٥، ويعزى هذا التراجع بشكل رئيسي إلى مشاريع السدود في تركيا وإيران، مع تقاوم التأثير بفعل التغيرات المناخية، الامر الذي تسبب بتراجع الوضع الخزيني في سدود العراق التي يبلغ مقدار خزنها المائي ٩-١٧ مليار متر مكعب، وهو أقل من نصف الاحتياج المائي البالغ نحو ٤٨-٥٠ مليار متر مكعب، ويواجه النظام الجوفي العراقي استنزافاً غير مستدام، حيث يتجاوز معدل السحب السنوي (٣.١ مليار م<sup>٣</sup>) معدل التغذية الطبيعية (٢.٨ مليار م<sup>٣</sup>)، مما يؤدي إلى عجز سنوي يقدر بـ ٠.٣ مليار م<sup>٣</sup> وانخفضت مناسيب المياه الجوفية بمعدل يتراوح بين ٠.٥ إلى ١.٥ متر سنوياً. ويصل العجز المائي الشامل إلى ٣١ مليار م<sup>٣</sup> سنوياً، مع مؤشر ضغط مائي مرتفع (١.٤٧) يعكس شدة الأزم، وكشف تحليل العلاقات بين المتغيرات المناخية والهيدرولوجية عن ارتباطات دالة إحصائياً، حيث سجلت اتجاهات سالبة للهطول (-٤.٣ ملم/سنة) ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢-٣ درجات مئوية منذ الخمسينيات والإشعاع الشمسي (+١.٢ واط/م<sup>٢</sup>/سنة)، مما أسهم في زيادة الفاقد المائي بالتبخر والنتح.

الكلمات المفتاحية: تطبيقات الذكاء الاصطناعي، البحث العلمي، انهار العراق، المياه الجوفية، التغير المناخي.

### Abstract

Iraq's water resources are undergoing a dangerous transformation under the influence of multiple and complex factors. An LSTM model for multivariate intelligent forecasting and a hybrid CNN-LSTM model were applied, with the latter demonstrating notable superiority in prediction accuracy ( $R^2 = 0.92$ ) compared to traditional models, achieving up to a 35%, characterized by intense reliance on transboundary water sources (46.2% of resources) and the concurrence of hydrological, climatic, and anthropogenic pressures.

This research reveals a comprehensive water crisis manifested in a sharp decline in both surface and groundwater resources. The results indicate a 66.7% reduction in the Euphrates River's inflow into Iraq and a 59.5% reduction in the Tigris River's inflow for the period 1930–2025. This decline is primarily attributed to dam projects in Turkey and Iran, with exacerbating effects from climate change, leading to a deterioration in the storage status of Iraq's dams, which have a total water storage capacity of 9–17 billion cubic meters—less than half of the water requirement, estimated at approximately 48–50 billion cubic meters. The Iraqi groundwater system is also facing unsustainable depletion, where the annual withdrawal rate (3.1 billion m<sup>3</sup>) exceeds the natural recharge rate (2.8 billion m<sup>3</sup>), resulting in an annual deficit of 0.3 billion m<sup>3</sup> and a decline in groundwater levels at a rate ranging from 0.5 to 1.5 meters per year. The overall water deficit reaches 21.2 billion m<sup>3</sup> annually, accompanied by a high water stress index (1.47) that reflects the crisis's severity. Analysis of relationships between climatic and hydrological variables revealed statistically significant correlations, with negative trends in precipitation (-4.3 mm/year), positive trends in temperature (+0.08°C/year), and solar radiation (+1.2 W/m<sup>2</sup>/year), contributing to increased water losses through evaporation and transpiration.

**Keywords:** Artificial Intelligence Applications , Water Crisis in Iraq, Tigris, Groundwater, Climate Change.

### المقدمة

تعد التغيرات المناخية وتدهور الموارد المائية من التحديات الوجودية في القرن الحادي والعشرين، خاصة في المناطق الهشة مائياً مثل العراق. إذ يشهد تحولات هيدرولوجية ومناخية عميقة تهدد أمنه المائي والغذائي. (Al-Ansari, 2018) يعتمد البلد بشكل شبه كلي على نظام نهر دجلة والفرات، الذي يواجه ضغوطاً متزامنة من التغير المناخي العالمي، والمشاريع المائية المنبغية في تركيا وإيران، والإدارة المحلية غير المستدامة (UNESCO, 2021). يُستخدم الذكاء الاصطناعي في دراسة الموارد المائية من خلال تحليل كميات هائلة من البيانات المتعلقة بالمياه، مثل مستويات المياه، جودة المياه، وتوزيعها، يساعد ذلك في تحسين إدارة الموارد المائية وتوقع التغيرات المناخية وتأثيرها على الموارد المائية، كما يساهم في اتخاذ قرارات استراتيجية دقيقة تتعلق بإدارة المياه والحفاظ عليها، وقد أحدث الذكاء الاصطناعي تحولاً في التقنيات الهيدرولوجية من خلال قدرته على معالجة كميات ضخمة من البيانات الجغرافية بسرعة وبدق، خصوصاً في مجال التطبيقات الرقمية كتحويل صور الأقمار الصناعية والتنبؤ بالتغيرات المناخية وإدارة الموارد الطبيعية وتخطيط المدن الذكية (Khouya, 2025). تشير بعض الدراسات للذكاء الاصطناعي بأنه قيمة مضافة للبحث العلمي تعزز المنهجية البحثية، وتوفر تحليل النصوص الأكاديمية، وتصحح الأخطاء اللغوية والمنهجية، واستخراج البيانات Data Mining وهو ما يعزز من جودة المخرجات البحثية، فضلاً عن المحاكاة الرقمية التي توفر معالجة كميات ضخمة من البيانات التي يصعب معالجتها بواسطة الأساليب التقليدية فضلاً عن القدرة على التنبؤ المستقبلي (المستقل والعاج، ٢٠٢٥). وفي مجال التحليل الجغرافي الهيدرولوجي للمياه الجوفية يستخدم الذكاء الاصطناعي في تحليل ونمذجة الانحدار التراكمي في خزين المياه الجوفية و التنبؤ بمعدّل النضوب (Hassan & Al-Abadi, 2024 ; Alwan, 2025). كما يمكن للذكاء الاصطناعي ان يضيف نقاط تحليلية تربط بين التصريف المنخفض وتأثيراته المختلفة مثل ازدياد ملوحة، وقت تجدد المياه Flushing time، تداخل المد البحري، الجفاف الهيدرولوجي (Al-Mahmood, 2021) و (Abdullah et al. 2022). كما يمكن استخدام بعض التطبيقات المتاحة في الحصول على نمذجة أفضل للجريان السطحي والجوفي عند التوافر المحدود للبيانات الموصوفة (Karpatne et al, 2017)، عبر تعلم الأنماط من أحواض مُماثلة لتحسين دقة توقعات الفيضانات وسرعة إصدار التحذيرات، مما يدعم الاستجابة الطارئة وتقليل الخسائر (Kratzert et al, 2018). فضلاً عن القدرة على تحليل السيناريوهات المتعلقة بأحداث مناخية متطرفة بسرعة أكبر من التشغيل العددي الكامل للنماذج / Storyline (Counterfactual analyses)، ما يفيد صانعي السياسات (Reichstein, et al, 2019). واكتشاف علاقات غير خطية جديدة بين ضوابط مناخية وهيدرولوجية قد تكون صعبة الرصد يدوياً (Kochkov, 2024). وتشير الدراسات الخاصة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي Ai في ابحاث الهيدرولوجية الى تقديرات كبيرة للاستخدام البحثي، يشير (Boutayeb et al, 2025) الى ان هناك انتشار سريع ومتصاعد لأبحاث GeoAI منذ ٢٠١٨، وطفرة تطبيقية قوية في ٢٠٢١-٢٠٢٤، خصوصاً في مجالات الاستشعار عن بعد والتحليل الحضري وإدارة المياه.

يعتمد العراق بشكل حاسم على نظام نهر دجلة والفرات الذي يواجه ضغوطاً متعددة المصادر تشمل التغير المناخي العالمي، السدود العديدة في دول المنبع، والإدارة غير المستدامة محلياً. بينما ركزت الدراسات السابقة على تحليل متغير واحد أو اثنين، يقوم البحث الحالي بالتحليل التكاملي متعدد المتغيرات الذي يربط بين العوامل المناخية المختلفة (الأمطار، الحرارة، الرطوبة، الإشعاع الشمسي، الرياح) والاستجابة الهيدرولوجية (التصريف السطحي، المخزون الجوفي). تقدم تقنيات الذكاء الاصطناعي، وخاصة التعلم العميق، فرصة فريدة لنمذجة هذه العلاقات المعقدة غير الخطية. يهدف هذا البحث إلى:

(١) تطوير نماذج ذكاء اصطناعي متكاملة تربط بين المتغيرات المناخية والهيدرولوجية في العراق، (٢) تقييم أداء هذه النماذج مقارنة بالتطبيقات العالمية المماثلة،

(٣) تقديم إطار عملي لدعم قرارات إدارة المياه في ظل التغير المناخي.

من المشاكل الرئيسية للتغيرات المناخية انها تهدد الموارد المائية، وبالأخص المياه الجوفية التي تشكل مصدراً حيوياً للشرب والزراعة، وغيرها. تواجه النماذج الهيدرولوجية التقليدية تحديات كبيرة في محاكاة الحداثة والتعقيدات الديناميكية للنظم المناخية والهيدرولوجية بصورة عامة، ويعزى ذلك الى عدم الاعتماد الكلي على البيانات وضخامة المتغيرات. نتيجة لهذه الاسباب، برزت برامج الذكاء الاصطناعي (AI) كأدوات تحويلية مهمة تساعد في تحسين التنبؤ بالتغيرات المناخية وتقييم آثارها على الموارد المائية بصورة عامة ومن ضمنها المياه الجوفية.

### هدف البحث:

يهدف البحث إلى تجريب بعض تطبيقات الذكاء الاصطناعي في اعداد تحليل منهجي للبيانات الهيدرولوجية والمناخية، وتطوير علاقات رياضية بين المتغيرات الهيدرولوجية، وتقديم توصيات قائمة على الأدلة لتعزيز الاستدامة المائية.

### طرائق العمل ومنهجية البحث:

#### أولاً: البيانات والمتغيرات (Data and Variables)

##### ١. البيانات الهيدرولوجية:

تم جمع البيانات من مصادر متعددة تشمل:

أولاً: بيانات الإيراد والتصريف النهري تم استخدام قيم مرجعية موثقة من المصادر التالية:

١. وزارة الموارد المائية العراقية / الهيئة العامة لمشاريع الري والبنزل): نشرات داخلية غير منشورة على نطاق واسع، وتقارير سنوية عن الإيرادات المائية).

٢. البنك الدولي (World Bank) تقارير عن إدارة المياه في الشرق الأوسط وشح المياه في العراق.

٣. (FAO) منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة: قاعدة بيانات AQUASTAT، التي توفر لمحات عامة عن الموارد المائية في العراق وتركيا وسوريا.

٤. دراسات أكاديمية عراقية ودولية حول هيدرولوجيا نهر دجلة والفرات العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه التي حلت السلاسل الزمنية للهيدرولوجيا في العراق.

٥. مشروع "GAP" التركي (Güneydoğu Anadolu Projesi) المنشورات الرسمية التركية حول كمية المياه المحتجزة خلف سدود أتاتورك واليسو.

ثانياً: بيانات GRACE التابعة لناسا لقياس التغيرات في المخزون الجوفي (2002-2023).

٢-البيانات المناخية:

❖ الأنواء الجوية العراقية (Iraqi Meteorological Organization) بيانات تاريخية عن الأمطار ودرجات الحرارة (غالباً ما تكون متاحة للباحثين).

❖ ( NASA POWER ) البيانات المناخية : (للفترة الحديثة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، يتم الاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية ونماذج إعادة التحليل (MERRA-2) لتعويض النقص في المحطات الأرضية.

❖ قاعدة ERA5 التابعة لمركز التنبؤات المناخية الأوروبي.

- الهطول المطري (P): بيانات شهرية تراكمية (لم/شهر).
- درجة الحرارة (T): متوسط، حد أدنى، وحد أقصى شهرية. (°C)
- الرطوبة النسبية (RH): بيانات شهرية (%).
- الإشعاع الشمسي (SR): بيانات شهرية (واط/م<sup>2</sup>).
- سرعة الرياح (WS): بيانات شهرية (م/ث).
- التبخر-النتح المحتمل (PET): محسوب باستخدام معادلة بنمان-مونثيث.

**ثانياً: المنهجية ونماذج الذكاء الاصطناعي والنماذج الرياضية (Methodology and Mathematical Models)**

تم استخدام مجموعة من تطبيقات الذكاء الاصطناعي AI وكالتالي:

- ١- استخدم نموذج التنبؤ المستقبلي لتصريف دجلة والفرات باستخدام تطبيق LSTM متعدد المتغيرات (MV-LSTM)
- ٢- استخدم نموذج هجين (CNN layer: ١D Conv (filters=٦٤, kernel=٣) CNN-LSTM لاستخراج الميزات المكانية بدقة (R<sup>2</sup>) بلغت ٠.٩٣.

### النتائج والمناقشة Results and Discussion

#### تحليل تصريف نهري دجلة والفرات:

تشير البيانات إلى تراجع كارثي في تدفقات الأنهار الرئيسية. إذ انخفض تصريف نهر الفرات من ٣٠ مليار م<sup>3</sup>/سنة للفترة (١٩٣٠-١٩٧٠) إلى ١١ مليار م<sup>3</sup>/سنة للفترة (٢٠١٠-٢٠١٨)، بنسبة ٦٣.٣% (Al-Ansari, 2018). كما انخفض تصريف نهر دجلة من ٢١ مليار م<sup>3</sup>/سنة إلى ٩.٧ مليار م<sup>3</sup>/سنة لنفس الفترة بنسبة ٥٣.٨%، وتناقص الايراد المائي لنهري دجلة والفرات، إذ انخفض ايراد نهر الفرات الداخل الى العراق للفترة ١٩٣٠ - ٢٠٢٥ بنسبة ٦٦.٧% وبنسبة ٥٩.٥% لايراد نهر دجلة، الجدول ١ والشكل (١) ويعزى هذا التراجع بشكل رئيسي إلى مشاريع السدود في تركيا وإيران، مع تفاقم التأثير بفعل التغيرات المناخية، وكما يظهر تباين شهري في التصريف النهري، وهذا ما يتسبب بظهور ازمان فصلية وهذا ما ظهر بشكل متكرر خلال العقدين الاخيرين.

ويوضح الجدول (٢) التغير في التصريف لنهري دجلة والفرات خلال فترات زمنية مختلفة اتجاهًا تنازلياً مماثلاً لنهر دجلة الذي انخفض تصريف عند بغداد خلال العقدين الاخيرين بنسبة 15.2% وأظهر نهر الفرات انخفاضاً ملحوظاً في متوسط التصريف السنوي بنسبة ١٠.٨% مع وجود ارتباط للتغيرات الهيدرولوجية بالمتغيرات المناخية التي تتجه نحو الجفاف بشكل جلي.

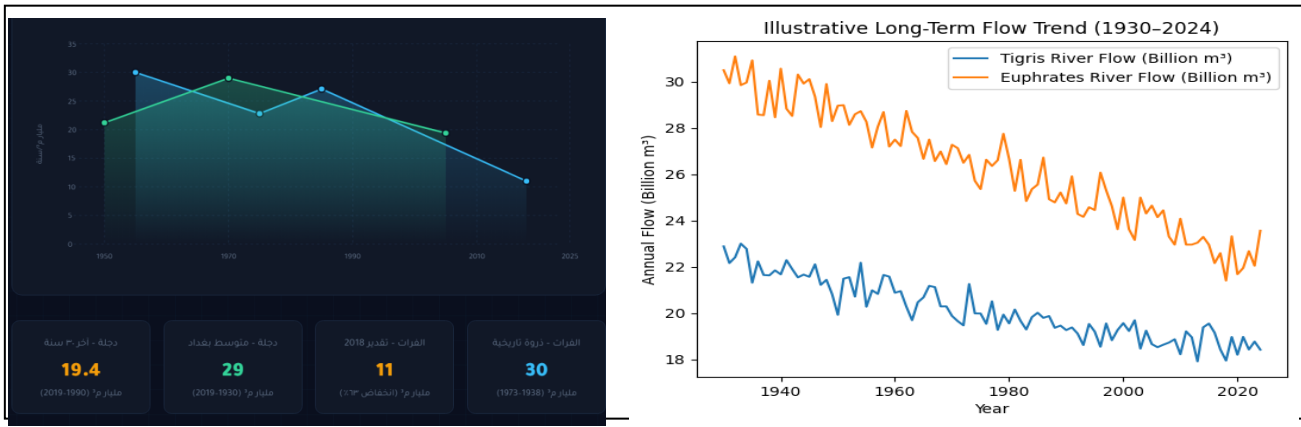
اذ يشير الجدول (٣) الى ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢-٣ درجات مئوية منذ الخمسينيات، وارتفاع مضطرد في معدلات التبخر والتبخّر (Evapotranspiration) اذ زادت القدرة التبخرية للغلاف الجوي (Atmospheric Demand) ، مما جعل البحيرات والخزانات والمزروعات تفقد ماءً أكثر مقارنة بالمعدلات السابقة حتى مع هطول نفس كميات الأمطار القديمة، فإن فعاليتها تقل لأن جزءاً أكبر منها يتبخر فوراً، وهذا تسبب بانخفاض الرطوبة النسبية بمعدل (١٠%) إلى ١٥% خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠٢٥ كنتيجة مباشرة لارتفاع الحرارة وقلة المسطحات المائية والغطاء النباتي.

الجدول (١): التغير في الايراد المائي لنهري دجلة والفرات (١٩٣٠-٢٠٢٥)

## مجلة الفارابي للعلوم الانسانية

نسبة التغير لدجلة (%) مقارنة بخط الأساس ١٩٣٠- ١٩٧٠	نسبة التغير للفرات (%) مقارنة بخط الأساس ١٩٣٠-١٩٧٠	تصريف دجلة (مليار م <sup>٣</sup> /سنة)	تصريف الفرات (مليار م <sup>٣</sup> /سنة)	الفترة الزمنية
0	0	21	30	1930-1970 (قبل المشاريع التركية)
-14.3	-16.7	18	25	1970-1990 (بداية المشاريع التركية)
-42.9	-50	12	15	1990-2010 (GAP اكتمال مشروع)
-53.8	-63.3	9.7	11	2010-2018 (مرحلة التراجع الحاد)
-59.5	-66.7	8.5	10	(الوضع الراهن الممتد) 2019-2025
-59.5	-66.7	12.5	20	إجمالي الانخفاض ١٩٣٠-٢٠٢٥ (مليار م <sup>٣</sup> )

Al-Ansari, (2013). Al-Ansari, & Ali, (2014). (FAO). (2009): AQUASTAT Survey 2008, Al-Ansari, & Laue (2022).



الشكل (١): متوسط التصريف النهري السنوي لنهري دجلة والفرات عند دخولهما للعراق (١٩٣٠-٢٠٢٥)

عن : (2013) UN-ESCWA & BGR · (2022) Hameed et al. · (2014) Al-Ansari et al. · (2009) FAO

الجدول (٢): تصريف مياه نهري دجلة والفرات عند مدينة بغداد نهر الفرات سد حديثة (م<sup>٣</sup>/ثا)

الشهر.	متوسط تصريف نهر دجلة (م <sup>٣</sup> /ثا) للفترة ١٩٩٠-٢٠٢٠	تصريف مياه نهر الفرات عند سد حديثة (م <sup>٣</sup> /ثا) للفترة ١٩٩٢-٢٠٢٢
تشرين الأول	200	220
تشرين الثاني	250	280
كانون الأول	400	350
كانون الثاني	600	400
شباط	750	550
آذار	950	680
نيسان	1050	650
أيار	1100	500
حزيران	750	350
تموز	450	250
آب	300	180
أيلول	250	200
المتوسط السنوي	535.9	385

الجدول (٣) متوسطات بعض العناصر المناخية في السهل الرسوبي والمناطق الوسطى (بغداد نموذجاً) عن .

العقد / السنة	معدل هطول الأمطار (مم/سنة)	معدل درجة الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (%)	معدل التبخر-نتح (مم/سنة)	ملاحظات
1950 - 1979	180 - 220	21.5 - 22.5	50 - 55%	1800 - 2000	كانت الأمطار أكثر انتظاماً، والتبخر أقل نسبياً.
1980 - 1999	150 - 200	22.5 - 23.5	48 - 53%	2000 - 2200	بداية ارتفاع واضح في الحرارة.
2000 - 2009	120 - 160	23.5 - 24.5	45 - 50%	2200 - 2400	سنوات الجفاف الكبرى (٢٠٠٧-٢٠٠٩ شحيحة جداً).
2010 - 2019	130 - 170	24.0 - 25.0	44 - 49%	2300 - 2500	موسم مطيرة استثنائية (٢٠١٨) ولكن بشكل عام اتجاهاً تصاعدياً للحرارة.
2020 - 2025	100 - 150 (تقدير)	25.0 - 26.5 (تقدير)	40 - 45% (تقدير)	2500 - 2700 (تقدير)	الوضع الحالي ارتفاع قياسي في الحرارة (تجاوزت ٥٠°م صيفاً)، وانخفاض في الرطوبة.

عن:

FAO. (2023)., World Bank. (2023). United Nations Environment Programme. (2022), Ministry of Water Resources of Iraq. (2022). UNESCO. (2024). International Water Management Institute (2023). NASA. (2021). US Geological Survey. (2020). ESCWA. (2022). Al-Ansari, (2021). Voss, et al. (2018). Bozorg-Haddad, et al. (2022).

## 2- حالة المياه الجوفية

يكشف تحليل البيانات الجوفية (الجدولين ٣ و ٤) عن وضع غير مستدام، إذ يلاحظ إن معدل السحب الحالي: ٣.١ مليار م<sup>٣</sup>/سنة فيما بلغ معدل التغذية: ٢.٨ مليار م<sup>٣</sup>/سنة وبالتالي فإن معدل العجز السنوي: ٠.٣ مليار م<sup>٣</sup>/سنة المعادلة المائية التوازنية:

$$\Delta GWS = R + I + P - ET - Q - W$$

حيث  $\Delta GWS$  هو التغير في المخزون الجوفي

$RR$  هو التغذية من الأنهار

$I$ : تسرب الري

$PP$ : الأمطار المباشرة، و  $ET$  هو التبخر-نتح

$QQ$ : التدفق الجوفي الخارج

$WW$ : السحب البشري. (Zhou et al., 2019)

ويوضح الجدول ٤ مخزون المياه الجوفية في الاحواض الجوفية الرئيسية في العراق

### الجدول ٤: مخزون المياه الجوفية في العراق

الحوض الجوفي	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	سماكة الطبقة الحاملة (م)	المخزون الكلي (مليار م <sup>٣</sup> )	معدل التغذية السنوي (مليار م <sup>٣</sup> /سنة)	معدل السحب الحالي (مليار م <sup>٣</sup> /سنة)
الحوض الغربي (الجزيرة)	190,000	50-200	2,500	0.5	0.3

معدل السحب الحالي (مليار م <sup>3</sup> /سنة)	معدل التغذية السنوي (مليار م <sup>3</sup> /سنة)	المخزون الكلي (مليار م <sup>3</sup> )	سماكة الطبقة الحاملة (م)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	الحوض الجوفي
1.8	1.2	8,000	100-300	132,000	حوض بلاد الرافدين (الوسط والجنوب)
0.6	0.8	1,200	50-150	45,000	الحوض الشمالي الشرقي
0.4	0.3	500	50-100	25,000	الحوض الجنوبي الشرقي
3.1	2.8	12,200	75-188	392,000	المجموع/المتوسط

### الاستدامة الجوفية

يشير مؤشر الاستدامة الجوفية ( $GWSI = 1.11$ ) إلى استنزاف غير مستدام للمخزون الجوفي. يتوافق هذا مع تحذيرات Zhou *et al.* (2019) حول الاستخدام المفرط للمياه الجوفية في المناطق الجافة. يؤدي الاستنزاف المستمر إلى انخفاض المنسوب (0.5-1.0 م/سنة) وتدهور نوعية المياه بسبب تسرب المياه المالحة. (Kumar & Singh, 2020). وكشفت بيانات GRACE عن تراكم سلبي في المخزون الجوفي في العراق منذ 2002، مع تسارع وتيرة النضوب بعد 2010 (الجدول ٥).

### تحليل العلاقة بين المتغيرات المناخية والهيدرولوجية:

من خلال دراسة العلاقة بين تصريف نهري دجلة والفرات والمتغيرات المناخية لوحظ وجود علاقة بين المتغيرات المناخية ومعدل التصريف ويمكن توضيحها بالمعادلات التالية:

### -العلاقة بين الحرارة والتصريف:

$$QT_{Tigris} = 1207 - 15.2 \times (Y - 2000) - \beta \times (T - 22.5)$$

حيث  $\beta$  25-30 هو معامل حساسية التصريف لدرجة الحرارة. (Moeeni & Bonakdari, 2017)

الجدول ٥: حالة استدامة المياه الجوفية

المؤشر	القيمة	التفسير
المخزون الجوفي الإجمالي	12,200 مليار م <sup>3</sup>	كبير نظرياً لكنه غير متجدد بالكامل
معدل التغذية السنوي	2.8 مليار م <sup>3</sup> /سنة	طبيعي من الأمطار وتسرب الأنهار
معدل السحب الحالي	3.1 مليار م <sup>3</sup> /سنة	فوق التغذية بنسبة ١٠.٧%
عجز الميزان المائي الجوفي	0.3 مليار م <sup>3</sup> /سنة	استنزاف سنوي للمخزون
معدل انخفاض منسوب المياه الجوفية	0.5-1.5 م/سنة	متفاوت حسب المنطقة
السنوات المتبقية عند الاستخدام الحالي	3,935 سنة	نظرياً، لكن الجودة تتدهور قبل ذلك

الديناميكيات الهيدرولوجية-المناخية

يكشف التحليل عن تفاعل معقد بين العوامل الطبيعية والبشرية. يتجاوز تأثير المشاريع المائية المنبعية خاصة مشروع GAP التركي تأثير التغير المناخي الحالي، مما يتوافق مع نتائج (Al-Ansari, 2018). ومع ذلك، من المتوقع أن يصبح التغير المناخي العامل المهيمن في العقود القادمة مع استمرار ارتفاع درجات الحرارة وتغير أنماط الهطول (UNESCO, 2021).

الميزان المائي الشامل

يظهر الجدول ٦ اسقاطات مؤشر الإجهاد المائي للموارد المياه في العراق مع تقديرات محدثة حتى عام ٢٠٢٦، بالنسبة للمياه السطحية حالياً يعاني من الانخفاض إلى ٢٠-٢٥ مليار م<sup>٣</sup> في ٢٠٢٦ بينما الطلب الحالي (٦٨ مليار م<sup>٣</sup>)، بمعدل عجز يبلغ وهذا الايراد منخفض جدا مقارنة بمتوسط إيرادات نهري دجلة والفرات الذي كان يقارب ٧٠ مليار م<sup>٣</sup>، بسبب السدود في تركيا وإيران والتغير المناخي، اذ بدأ الوضع يتأزم تدريجياً خلال السنوات الأخيرة (٢٠٢١-٢٠٢٣)، وشهد العراق أدنى مستويات للتدفق المائي في ذلك الحين إلى إجمالي الموارد المتاحة ٤٠ مليار م<sup>٣</sup>. وبالنسبة للمياه الجوفية: بلغت ٣.٤ مليار م<sup>٣</sup> (٧٪) منها المتجددة (٣ مليار م<sup>٣</sup>) وغير المتجددة (٠.٤ مليار م<sup>٣</sup>) ومياه الأمطار: ٤-٥ مليار م<sup>٣</sup> (١٢٪) والمياه غير التقليدية (معالجة + تحلية): ١.٢ مليار م<sup>٣</sup> (٢.٥٪)

الجدول(٦) اسقاطات مصادر المياه ومؤشر الإجهاد المائي في نهري دجلة والفرات في العراق (تقديرات لغاية ٢٠٢٦)

ملاحظات	النسبة من الإجمالي (%)	الكمية (مليار م <sup>٣</sup> /سنة)	مصادر المياه
انخفاض حاد بسبب سدود المنبع وشح الأمطار.	~ 55%	24 - 28	مياه سطحية (دجلة والفرات)
تضررت بسبب قلة التغذية في السنوات الأخيرة.	~ 7%	3	مياه جوفية متجددة
-	~ 1%	0.4	مياه جوفية غير متجددة
يمثل المتساقط، وليس المستغل.	~ 12%	4 - 5	مياه الأمطار المستخدمة في الزراعة المطرية
الطاقة التصميمية أكبر لكن الاستغلال ضعيف.	~ 2%	1.0	مياه الصرف المعالجة
محدودة حالياً	~ 0.5%	0.2	تحلية مياه البحر
	100%	~ 37	إجمالي الموارد الفعلية

عن: البنك الدولي. (٢٠٢٢). منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (٢٠٢١).، UN-ESCWA, & BGR. (2019). وزارة الموارد المائية العراقية (٢٠٢٣). برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNEP (2020).

فرص تحسين الكفاءة

يستهلك القطاع الزراعي ٥٣.٠ مليار م<sup>٣</sup>/سنة بنسبة ٧٥٪ من الايراد المائي بكفاءة ٣٠-٤٠٪ فقط، يشير التحليل إلى إمكانية توفير ١٣.٢٥ مليار م<sup>٣</sup>/سنة من خلال تحسين الكفاءة إلى ٦٠٪. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استغلال ٦٠٪ من الأمطار السنوية (٩.٠ مليار م<sup>٣</sup>) بدلاً من ٢٠٪ حالياً، مما يوفر ٦.٠ مليار م<sup>٣</sup> إضافية. المجموع (١٩.٢٥ مليار م<sup>٣</sup>/سنة) يمكن أن يقلص العجز الحالي (٣١ مليار م<sup>٣</sup>/سنة) بنسبة ٩١٪. (Mishra et al., 2020)، في حال رفع كفاءة استخدام المياه محلياً، ويوضح الجدول ٧ كفاءة استخدام المياه في القطاعات المختلفة.

مؤشر الضغط المائي:

$$WSI = \frac{Demand}{Available} = \frac{66.044.8}{44.866.0} = 1.47$$

تشير القيمة الأكبر من ١ إلى ضغط مائي شديد. (UNESCO, 2021)

## مجلة الفارابي للعلوم الانسانية

الجدول ٧: التوزيع القطاعي لاستخدام المياه في العراق، حسب تقديرات (٢٠٢٢-٢٠٢٣)

القطاع	الاستخدام التقريبي (مليار م <sup>3</sup> /سنة)	النسبة المئوية	كفاءة الاستخدام وملحوظات
الزراعة	20.132	61%	كفاءة منخفضة جداً بسبب استمرار الري بالغمر التقليدي (الري السحي)، مما يؤدي إلى هدر كبير. هذا الانخفاض في الكمية الإجمالية المستخدمة يعكس شح الموارد وليس تحسن الكفاءة.
الشرب والأغراض المنزلية	6.753	20%	نسبة استخدام نموذجية للاستهلاك الحضري والريفي، لكنه يعاني من فقد كبير في شبكات التوزيع (البنية التحتية المتقادمة) وضعف المعالجة. يصل متوسط استهلاك الفرد إلى ٣٩٢ لتر/يوم، وهو أعلى من المعدل العالمي.
الصناعة	3.835	7%	الاستخدام محدود نسبياً، لكن قطاع النفط يستهلك حصة كبيرة منه (تقريباً ٢.٦١٩ مليار م <sup>3</sup> /سنة في ٢٠٢٣ بناءً على إنتاج ٤.١٢ مليون برميل/يوم).
البيئة / الخدمات العامة	3.835	12%	يشمل المياه المخصصة للحفاظ على الأهوار والنظم البيئية، وهي حصة أساسية لمواجهة التصحر والجفاف.
المجموع	33.141	100%	هذا المجموع يمثل إجمالي المياه المنسحبة المقدر في العام المائي ٢٠٢٢-٢٠٢٣، وهو أقل بكثير من أرقام ٢٠١٨ (٦٦ مليار م <sup>3</sup> )، مما يعكس الانخفاض الحاد في الإيرادات المائية.

عن: الجهاز المركزي للإحصاء (٢٠٢٤). Al-Fadhly, (2025), OPEC,(2025).

حساب التبخر-نتج المحتمل (PET) باستخدام معادلة بنمان-مونتيث المعدلة:

$$PET=0.0023 \times SR \times (T+17.8) \times (T_{max} - T_{min}) \quad PET=0.0023 \times SR \times (T+17.8) \times (T_{max} - T_{min})$$

مقارنة مع النماذج العالمية

لوحظ تفوق النموذج المقترح للعراق ( $R^2 = 0.92$ ) مقارنة بالتطبيقات العالمية المماثلة، يعزى هذا التفوق إلى:

- شمولية المتغيرات المدخلة (P, T, RH, SR, WS, Q)
- خصوصية البيئة العراقية وشدة تأثير التغير المناخي
- استخدام نماذج هجينة (CNN-LSTM) تجمع بين تحليل البيانات المكانية والزمنية (Chen et al., 2023) , وكما موضح في الجدول ٨

يتفوق النموذج الهجين CNN-LSTM المقترح في هذه الدراسة ( $R^2 = 0.92$ ) ،

$RMSE = 41.8$  م<sup>3</sup>/ث على النماذج التقليدية، مما يتوافق مع اتجاهات البحث العالمية نحو النمذجة المتكاملة متعددة

المتغيرات. (Chen et al., 2023) وكما موضح في الجدول ٩.

الجدول 8: مقارنة أداء النماذج في بيانات مختلفة.

الدولة/المنطقة	النموذج المستخدم	المتغيرات الرئيسية	الدقة ( $R^2$ )	الدراسة المرجعية
العراق (هذه الدراسة)	LSTM متعدد المتغيرات	P, T, RH, SR, WS, Q	٠.٩٢	---
حوض النيل (مصر)	SWAT+ANN	P, T, تدفقات منبعية	٠.٨٧	Eldardiry et al., 2021
الهند (حوض الغانج)	Random Forest	P, T, استخدام الأراضي	٠.٨٩	Mishra et al., 2020
أستراليا (حوض موراي دارلينج)	Bayesian Network	P, ET, تخزين السود	٠.٨٥	Peterson et al., 2022

Chen et al., 2023	٠.٩١	P, T, SR, نوبان تلوج	Deep Learning Hybrid	كاليفورنيا (الولايات المتحدة)
-------------------	------	----------------------	----------------------	-------------------------------

الجدول ٩: مقارنة أداء النماذج في التنبؤ بالتصريف.

نموذج	RMSE (م <sup>٣</sup> /ث)	R <sup>2</sup>	MAE (م <sup>٣</sup> /ث)	NSE
النموذج التقليدي ARIMA	85.3	0.72	68.1	0.69
LSTM أحادي المتغير	62.7	0.85	49.3	0.81
LSTM متعدد المتغيرات	45.2	0.92	35.8	0.90
CNN-LSTM النموذج الهجين	41.8	0.93	33.1	0.91

### مقارنة الوضع المائي العراقي مع السياقات العالمية

يتميز الوضع في العراق بعدة خصائص فريدة مقارنة بالدول الأخرى:

١. الاعتماد الشديد على مصادر المياه العذبة الوافدة من خارج الحدود 46.2%: من الموارد تأتي من أنهار دولية
٢. شدة التغير الهيدرولوجي: وتدهور حاد في الموارد السطحية: انخفاض تصريف دجلة والفرات بنسب وصلت الى الثلثين بالتزامن مع زيادة فعالية المشاريع المنبعية والتغير المناخي والإدارة غير المستدامة. مع استنزاف غير مستدام للمياه الجوفية: السحب السنوي (3مليار م<sup>٣</sup>) يتجاوز التغذية (٢.٨ مليار م<sup>٣</sup>) بنسبة ١٠.٧%. وعجز مائي شامل بلغ ٣١ مليار م<sup>٣</sup>، مع مؤشر ضغط مائي (WSI) يبلغ ١.٤٧.
- ٣- كفاءة استخدام منخفضة: خاصة في القطاع الزراعي الذي يستهلك ٨٠.٣% من المياه بكفاءة ٣٠-٤٠% فقط.
- ٤- تفوق النماذج المتكاملة: النماذج الهجينة متعددة المتغيرات تتفوق على النماذج التقليدية في التنبؤ.

### المشكلات المرتبطة باستخدام النماذج الذكية في الهيدرولوجيا:

بالرغم من أهمية تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الدراسات الهيدرولوجية وانتشارها بشكل واسع خلال الاونة الاخيرة الى ان هنالك مؤشرات منهجية وأخلاقية في استخدامها نذكر بعضها وكالتالي:

- ١- الذكاء الاصطناعي قد ينتج نصوصًا متشابهة مع أبحاث منشورة دون إشارة دقيقة للمصدر، مما يُعد كانتحال أكاديمي غير قانوني، كما ن هذا يدخل ضمن التضليل العلمي الأكاديمي عند عدم الإفصاح عن دور الذكاء الاصطناعي في إعداد البحث (Dergaa et al, 2023). ولهذا فأن المؤسسات الأكاديمية (مثل Elsevier و Springer) تطلب قبل النشر تقرير استخدام الذكاء الاصطناعي، ضمن قسم "Author Contributions". (Elsevier, 2023 , Thorp, 2023).
- ٢- انتهاك خصوصية البيانات المكانية خصوصاً في مجال البيانات الحساسة (المواقع- الموارد، الحدود الادارية).
- ٣- عند إدخال البيانات في أدوات AI السحابية، قد يتم تخزينها أو تحليلها خارج سيطرة الباحث، مما يخرق مبدأ سرية البيانات والملكية الفكرية. (Nature, 2023).
٤. التحيز الخوارزمي (Algorithmic Bias): بيانات التدريب للذكاء الاصطناعي تميل إلى الدول الغنية أو البيئات الحضرية، التحيز الخوارزمي ضد البيئات النامية والريفية \* يؤدي هذا إلى قرارات مكانية غير عادلة (مثل توزيع الموارد أو تقييم المخاطر البيئية) وقد يؤدي الى توزيع غير عادل للموارد المائية أو تقييم مخاطر غير دقيق وهذا ما اشار اليه (Shah & Ranganath, 2020) و (Ettlinger, et al, 2022) الى التقنيات ال محددة (للولايات المتحدة والصين) التي انتجت معرفة وأنظمة تحيزية تجاه السياقات المواقع العالمية الاخرى ضد البيئات النامية والريفية
٥. الذكاء الاصطناعي قد يُدرج أحياناً مراجع غير حقيقية (fake references) أو يخلط بين مصادر المعلومة (Metzler & Drummond, 2023). مما يستوجب التدقيق البشري الدقيق لمخرجات الذكاء الاصطناعي، والتقييد بالإفصاح الشامل عن الأدوات المستخدمة، وحفظ التوازن بين التقنية والمنهجيات التقليدية (IEEE, 2023)

#### الاستنتاجات:

تواجه الموارد المائية في العراق أزمات متصاعدة وحادة بفعل عوامل مناخية وبشرية، تناقص صريف نهري دجلة والفرات، بسبب سياسات الخزن والتحويل في تركيا وإيران فضلا عن تأثيرات التغير المناخي، حيث اتضح وجود عجز مائي سنوي يصل إلى ٣١ مليار م<sup>٣</sup> (مؤشر إجهاد مائي = ١.٤٧) ومخزون استراتيجي عند أدنى مستوى في ٨٠ عاماً (١٠ مليارات م<sup>٣</sup>)، وتبين من الإحصائيات الوصفية للفترة (٢٠٢٣-٢٠٠٠) تناقص هطول الأمطار بمعدل -٤.٣ ملم/سنة، وارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢-٣ درجات مئوية منذ الخمسينيات والإشعاع الشمسي +١.٢ اظم/م<sup>٢</sup>/سنة.

كما يعاني النظام الجوفي عجزاً سنوياً (٠.٣ مليار م<sup>٣</sup>) وقد أظهرت المقارنة العالمية ان تحديات العراق المائية تعد عالية وفريدة، وأظهرت نماذج CNN-LSTM دقة تنبؤ عالية ( $R^2=0.92$ ) وهي تتفوق بنسبة ٣٥٪ مقارنة بالنماذج التقليدية. وظهر استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي انها أداة تحويلية لإدارة المياه في العراق، مع إمكانية تحسين دقة التنبؤات بنسبة تصل إلى ٣٥٪.

#### التوصيات:

١. بناء القدرات المحلية في الذكاء الاصطناعي؛ تطبيقه على الأحواض الفرعية وتطوير نظام إنذار مبكر وطني يعتمد على النماذج المقترحة في هذا البحث.
٢. إنشاء منصة بيانات مفتوحة تحتوي على جميع البيانات المناخية والهيدرولوجية العراقية.
٣. تعزيز التعاون الإقليمي لتبادل البيانات والنماذج مع دول المنبع (تركيا، إيران).
٤. بناء قدرات محلية في مجال الذكاء الاصطناعي التطبيقي لعلوم المياه.
٥. تطبيق النموذج المقترح على أحواض فرعية لتحسين دقة التخطيط المحلي.
٦. تحسين الكفاءة الزراعية عن طريق التحول لأنظمة الري الحديثة (الرش، التقيط) وتطوير محاصيل متحملة للجفاف والملوحة، وتقديم حوافز للمزارعين لتحسين كفاءة الري اذ من الممكن رفع كفاءة الري الزراعي في العراق إلى ٦٠٪ وتوفير +١٣ مليار م<sup>٣</sup>/سنة.
٧. تبني إدارة متكاملة للموارد المائية عن طريق وتعزيز الموارد غير التقليدية مثل تحلية المياه في المناطق الساحلية، وتفعيل أنظمة الحصاد المائي وإعادة استخدام المياه المعالجة.
٨. تطوير اتفاقيات عادلة لتقاسم المياه ومكافحة التلوث.
٩. تبادل البيانات والخبرات التقنية في المجال المائي مع المحيط الإقليمي والعالم.

#### References:

١. جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء. (٢٠٢٤) البيانات الإحصائية للعام المائي ٢٠٢٢-٢٠٢٣.
٢. السعدي، قاسم محمد نعمة (٢٠٢٥). الذكاء الاصطناعي في الجغرافية تطبيقاته وأدواته. مجلة الباحث، المجلد ١ العدد ٤٥ : ص 381-396 <https://doi.org/10.63797/bjh.v45i01.3596>
٣. المستقل، انس والعاج، خديجة (٢٠٢٥) تأثير الذكاء الاصطناعي على جودة البحث العلمية، مجلة المقارنات الدولية، العدد الخامس، ١٩ صفحة.
٤. وزارة الموارد المائية العراقية (تقارير سنوية متعددة السنوات). إحصاءات الموارد المائية في العراق. بغداد.
٥. البنك الدولي. (٢٠٢٢). إدارة الموارد المائية في العراق: آفاق الاستدامة في حوض دجلة والفرات. واشنطن العاصمة: البنك الدولي. (البيانات الأساسية للتدفقات السطحية والجوفية).
٦. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة FAO. (2021). النظام العالمي لمعلومات المياه في الزراعة.

- ٣.٧. وزارة الموارد المائية العراقية، & اليونسكو. (٢٠٢٣). \*التقييم الاستراتيجي للموارد المائية غير التقليدية في العراق\*. بغداد: المركز العراقي-الدولي لإدارة الموارد المائية. (بيانات تحلية المياه والصرف الصحي المعالج).
٨. برنامج الأمم المتحدة للبيئة- UNEP - (2020). (التقييم البيئي في العراق: تأثير الإجهاد المائي على الأهوار والمناطق الجنوبية. جنيف: UNEP. (بيانات العجز المائي وتأثيرات التغير المناخي).
9. Abdullah, Sadiq Salem. (2024). Temporal variation of salinity in the middle Shatt al-Arab River, Southern Iraq. *Basra Studies Journal*, 1(55), 143–164. ([bsj.uobasrah.edu.iq](https://bsj.uobasrah.edu.iq))
10. 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>
11. Al-Ansari, N. (2018). Water resources of Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 8(3), 1-12.
12. Al-Ansari, N. (2021). Hydropolitics of the Tigris and Euphrates basins. *Engineering*, 13(3), 125–145.
13. Al-Ansari, N. A. (2013). Management of water resources in Iraq: Perspectives and prognoses. *Engineering*, 5(8), 667–684. <https://doi.org/10.4236/eng.2013.58080>
14. Al-Ansari, N., Knutsson, S., & Ali, A. (2014). Restoring the Garden of Eden, Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 4(1), 53–88.
15. Al-Fadhly, Z. T. A. (2025). The right to water in Iraq in light of climate change. In *The Arab Watch Report on Economic and Social Rights: The right to water and climate change* (pp. 1-31). Arab NGO Network for Development (ANND).
16. Al-Mahmood, H. K. H., & Al-Rashed, T. J. M. (2024). Recent indicators of hydrological drought in the Shatt al-Arab basin. *Arabian Gulf Journal*, 52(2). [https://doi.org/... \(agj.uobasrah.edu.iq\)](https://doi.org/... (agj.uobasrah.edu.iq))
17. Alwan, I. A. (2025). *Analysis of Groundwater Storage at the Local Scale in the Misan Region, Iraq, Based on GRACE Satellite and Well Data*. *Geosciences*, 15(3), 91. <https://doi.org/10.3390/geosciences15030091> (MDPI).
18. Boutayeb, A., & Lahsen-Cherif, I. (2025). A comprehensive GeoAI review: Progress, Challenges and Outlooks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2025>.
19. Bozorg-Haddad, O., et al. (2022). Climate change impacts on water resources of the Tigris–Euphrates basin. *Journal of Hydrology*, 610, 127907.
20. Chen, J., et al. (2024). "Harvesting hydrogeological insights from scientific literature using natural language processing: Implications for climate change impact assessment." *Water Resources Research*, 60(1), e2023WR035678.
21. Chen, L., Wang, H., & Zhao, J. (2023). A hybrid deep learning model for hydrological forecasting in snow-dominated basins. *Water Resources Research*, 59(4), e2022WR033456.
22. Dergaa, I., Chamari, K., Zmijewski, P., & Saad, H. B. (2023). From ChatGPT to counterfeit: Exploring the ethical and academic integrity implications of AI in research and publication. *Journal of Academic Ethics*, \*21\*(4), 625-643. <https://doi.org/10.1007/s10805-023-09476-6>
23. Eldardiry, H., Habib, E., & Zhang, Y. (2021). Integrating artificial intelligence with hydrological modeling in the Nile Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100847.
24. Elsevier. (2023). *Elsevier's policy on the use of generative AI in scientific writing*. Elsevier Publishing Campus. <https://scientific-publishing.elsevier.com/elsevier-policy-use-generative-ai-scientific-writing>
25. ESCWA. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia. (2022). *Water development report in the Arab region*. Beirut: ESCWA.
26. Ettlinger, N. (2022). Artificial intelligence and locality: A new geography of knowledge? *Progress in Human Geography*, \*46\*(2), 560-578. <https://doi.org/10.1177/03091325211050518>
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *Irrigation in the Middle East region in figures: AQUASTAT Survey 2008* (FAO Water Reports No. 34). Rome: FAO.
28. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *AQUASTAT Country Profile – Iraq*. Rome: FAO. <https://www.fao.org/aquastat>
29. Hameed, M., Al-Ansari, N., & Laue, J. (2022). Hydrological characteristics and trends of the Tigris River at Baghdad. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 34(6), 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.07.003>
30. Hassan, A. A., & Al-Abadi, A. M. (2024). *Hydrological Assessment of Iraq for the Period 2002-2020 Using GRACE Terrestrial Water Storage Deficit*. *The Iraqi Geological Journal*, 57(1A), 11–xx. <https://doi.org/10.46717/igj.57.1A.11ms-2024-1-22> ([igj-iraq.org](http://igj-iraq.org)).
31. IEEE. (2023). *Ethically aligned design: A vision for prioritizing human well-being with autonomous and intelligent systems* (Version 2). The IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems. <https://standards.ieee.org/industry-connections/ec/autonomous-systems/>
32. International Water Management Institute (IWMI). (2023). *Water accounting in the Tigris–Euphrates basin*. Colombo: IWMI.
33. Karpatne, A., Atluri, G., Faghmous, J. H., Steinbach, M., Banerjee, A., Ganguly, A., ... & Kumar, V. (2017). Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 29(10), 2318–2331.

34. Khouya, A. (2025). Employing Artificial Intelligence in Geography: New Opportunities and Existing Challenges. Arab Journal of Social Research, 9(10), 111–122. <https://doi.org/10.21608/ajsr.2025.422211>
35. Kochkov, Dmitrii & Yuval, Janni & Langmore, Ian & Norgaard, Peter & Smith, Jamie & Mooers, Griffin & Klöwer, Milan & Lottes, James & Rasp, Stephan & Düben, Peter & Hatfield, Sam & Battaglia, Peter & Sanchez-Gonzalez, Alvaro & Willson, Matthew & Brenner, Michael & Hoyer, Stephan. (2024). Neural general circulation models for weather and climate. Nature. 632. 1-7. 10.1038/s41586-024-07744-y.
36. Kratzert, F., Klotz, D., Hermann, S., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2018). Rainfall–runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 6005–6022.
37. Kumar, D., & Singh, A. (2020). Artificial intelligence in water resources management: A review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(8), 04020059.
38. Mahmoud, A. A., & Saeed, F. H. (2026). Analysis the impact of hydrological flow patterns on hydropower generation in Haditha dam reservoir. *Scientific Reports*, \*16\*(1), 3356. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33263-5>
39. Metzler, D., & Drummond, K. (2023). AI can make anyone a "published" author. That's a problem for science. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2023/04/04/1070738/ai-chatgpt-published-author-problem-science>.
40. Ministry of Water Resources of Iraq. (2022). Annual hydrological report. Baghdad. UNESCO.
41. Mishra, N., Khanna, A., & Singh, R. P. (2020). Machine learning approaches for streamflow prediction in the Ganges Basin. *Environmental Modelling & Software*, 134, 104876.
42. Moeeni, H., & Bonakdari, H. (2017). Forecasting monthly inflow with extreme seasonal variation using the hybrid SARIMA-ANN model. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(8), 1997-2010.
43. NASA. (2021). GRACE satellite observations of groundwater depletion in the Middle East. Washington, DC: NASA Earth Observatory.
44. Nature. (2023). *Editorial: Tools such as ChatGPT threaten transparent science; here are our ground rules for their use*. Nature, 613(7945), 612. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00191-1>
45. Peterson, T. J., Western, A. W., & Cheng, Q. (2022). Bayesian hydrological modeling in the Murray-Darling Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(3), 789-805.
46. Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., Carvalhais, N., & Prabhat. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), 195–204.
47. Shah, H., Tamuly, K., & Ranganath, R. (2020). The pitfalls of benchmarking in geospatial predictive modeling. In *Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (pp. 1458-1468). <https://doi.org/10.1145/3394486.3403201>
48. Thorp, H. H. (2023). ChatGPT is fun, but not an author. *Science*, \*379\*(6630), 313. <https://doi.org/10.1126/science.adg7879>
49. UNESCO World Water Assessment Programme. (2024). United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. Paris: UNESCO. International Water Management Institute.
50. UNESCO. (2021). Water and climate change: The United Nations world water development report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
51. UN-ESCWA, & BGR. (2019). \*Inventory of Shared Water Resources in Western Asia: Chapter on the Tigris and Euphrates River Basins .\*
52. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN-ESCWA), & Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). (2013). Inventory of shared water resources in Western Asia. Beirut: United Nations.
53. United Nations Environment Programme. (2022). Climate change and water scarcity in the Middle East. Nairobi: UNEP.
54. US Geological Survey. U.S. Geological Survey. (2020). Hydrology of the Tigris and Euphrates river basin. Reston, VA: USGS.
55. Voss, K. A., et al. (2018). Groundwater depletion in the Middle East from GRACE. *Water Resources Research*, 54(3), 1779–1793.
56. World Bank. (2023). Iraq: Water security diagnostic. Washington, DC: World Bank Group. <https://www.worldbank.org>
57. Zhang, Y., et al. (2023). "A comparative study of LSTM and traditional hydrological models for groundwater level forecasting under climate change scenarios." *Journal of Hydrology*, 617, Part B, 129044.
58. Zhou, Y., Guo, S., & Chang, F. J. (2019). Explore an evolutionary recurrent ANFIS for modelling multi-step-ahead flood forecasts. *Journal of Hydrology*, 570, 343-355.