تصاعد الإجهاد المائي في ظل تغير المناخ وتقويض أمن المياه العالمي

Escalating Water Stress under Climate Change and the Undermining of Global Water Security

الوناس سفيان، مخبر دراسات استراتيجيات التنويع الاقتصادي لتحقيق التنمية المستدامة، جامعة المجاهد عبد الحفيظ بوالصوف ميلة، (الجزائر). lounnas.soufyane@centre-univ-mila.dz

تاريخ الاستلام: 18 /2025/10 تاريخ القبول: 2026/03/06 تاريخ النشر: 2026/03/27

ملخص:

هدفت الدراسة إلى تحليل اتجاهات تصاعد الإجهاد المائي عالميا تحت تأثير تغير المناخ، وتمركزه الجغرافي وأبرز العوامل المفسرة له، حيث اعتمدت منهجا وصفيا تحليليا من خلال تحليل بيانات ومؤشرات دولية حديثة خاصة مؤشر *SDG 6.4.2*، مع المقارنة بين مقاربات القياس زمانيا ومكانيا.

أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي يتزايد ويتسم بتمركز حاد في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، ولا سيما الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، كما أن استمرار الاحترار وارتفاع التبخر وتزايد التطرف المناخي، بالتوازي مع نمو الطلب الحضري والزراعي، سيوسع بؤر الإجهاد ويزيد مخاطر الانقطاعات والتوترات حول الموارد، خاصة في المدن سريعة النمو. كما توصي الدراسة بتعزيز حوكمة مائية تكاملية تجمع بين رفع كفاءة الطلب وخفض الفاقد، وتوسيع إعادة الاستخدام والتحلية حيثما كانت مجدية، وحماية جودة المياه والتدفقات البيئية، وتطوير أنظمة إنذار مبكر وخطط جفاف على مستوى الأحواض.

كلمات مفتاحية: تغير مناخ؛ أزمة مياه؛ إجهاد مائي؛ أمن مائي مستدام.

تصنيفات JEL: Q54،Q25 .

Abstract:

This study examines the accelerating trends and spatial concentration of global water stress under climate change using SDG indicator 6.4.2. Findings highlight intensifying scarcity in arid regions like **MENA**, driven by rising evapotranspiration and competing

urban-agricultural demands, which elevate risks of supply disruptions and resource-based tensions. To mitigate these threats, the study advocates for **integrated water governance** focused on demand efficiency, expanded desalination and reuse, and the implementation of basin-level early-warning systems and drought management strategies.**Keywords:** Climate Change; Water Crisis; Water Stress; Sustainable Water Security.
Jel Classification Codes : Q25 ; Q54.

1. مقدمة :

تعتبر المياه العذبة شريان الحياة الأساسي لكوكب الأرض، فهي تدعم النظم البيئية وتضمن استمرارية الزراعة، وتلبي الاحتياجات البشرية الأساسية، كما تشكل ركيزة أساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، ومع ذلك يواجه هذا المورد الحيوي ضغوطا متزايدة وغير مسبوقة في القرن الحادي والعشرين ناجمة عن النمو السكاني، والتوسع الحضري، والتنمية الصناعية، وأنماط الاستهلاك غير المستدامة، وفوق كل ذلك يبرز تغير المناخ كعامل مضاعف للأزمة، حيث يهدد بتغيير دورة المياه العالمية بشكل جذري، ويدفع بموارد المياه العذبة المتاحة نحو ندرة حرجة في مناطق واسعة من العالم.

لقد حذرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في تقاريرها التقييمية المتعاقبة وبشكل متزايد من أن تغير المناخ يؤثر بشكل مباشر وعميق على موارد المياه في جميع أنحاء العالم، وتتجلى هذه التأثيرات في تغير أنماط هطول الأمطار، حيث تشهد بعض المناطق زيادة في شدة الهطول مما يؤدي إلى فيضانات مدمرة، بينما تعاني مناطق أخرى من موجات جفاف طويلة وشديدة، كما يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى زيادة معدلات التبخر، وتسريع ذوبان الأنهار الجليدية والغطاء الثلجي، مما يغير توقيت وحجم تدفقات الأنهار التي تعتمد عليها ملايين البشر، بالإضافة إلى ذلك يساهم ارتفاع مستوى سطح البحر في تسرب المياه المالحة إلى طبقات المياه الجوفية الساحلية، مهددا مصادر المياه العذبة للمجتمعات الساحلية.

تؤكد أحدث البيانات الصادرة عن برنامج الأمم المتحدة للمياه أن أزمة المياه ليست مجرد احتمال مستقبلي، بل هي واقع معاش في العديد من المناطق، كما تشير التقديرات إلى أن أكثر من ملياري شخص يعيشون حاليا في بلدان تعاني من إجهاد مائي مرتفع وأن ما يقرب من نصف سكان العالم يعانون من ندرة حادة في المياه لمدة شهر واحد على الأقل سنويا(FAO, 2024) ، هذه الأرقام المقلقة مرشحة للارتفاع بشكل كبير في ظل استمرار الاتجاهات الحالية لتغير المناخ.

إشكالية الدراسة:

تكمن إشكالية هذه الدراسة في تحليل وتوثيق الكيفية التي يعمل بها تغير المناخ كعامل مضاعف ومحفز لأزمة المياه العالمية، وكيف أن هذه العلاقة المتشابكة تتجاوز حدود التأثيرات البيئية المباشرة لتصل إلى تهديد أسس الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي والسياسي على المستوى العالمي.

فعلى الرغم من أن ندرة المياه ليست ظاهرة جديدة في بعض المناطق، إلا أن ما يميز الوضع الراهن هو السرعة غير المسبوقة التي تتفاقم بها هذه الأزمة، والنطاق الجغرافي المتسع لتأثيراتها، والتعقيد المتزايد للتحديات المرتبطة بها.

تشير التقديرات إلى أن 17 دولة معظمها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، تعاني حاليا من إجهاد مائي حرج يتجاوز 100 % (UN Water, 2023)، مما يعني أنها تستهلك أكثر مما تتجدد من مواردها المائية المتاحة سنويا، وتتوقع النماذج المناخية أن يرتفع عدد الأشخاص الذين يعيشون في مناطق تعاني من ندرة مياه شديدة بنسبة 40% بحلول عام 2050 في ظل سيناريو الانبعاثات المتوسطة (IPCC, 2022)، إن هذه الأرقام المقلقة تطرح تساؤلات جوهرية حول قدرة المجتمعات البشرية على التكيف مع هذا الواقع المائي الجديد، وحول فعالية الاستراتيجيات الحالية لإدارة المياه في ظل تغير المناخ، وحول الآثار المترتبة على الأمن الغذائي والصحة العامة والهجرة والنزاعات، كما تثير إشكالية أخلاقية تتعلق بالعدالة المناخية والمائية، حيث غالبا ما تكون المجتمعات الأقل مساهمة في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري هي الأكثر تضررا من تداعياتها على الموارد المائية.

الأسئلة الفرعية:

تنبثق عن الإشكالية الرئيسية مجموعة من الأسئلة الفرعية التي تسعى الدراسة للإجابة عليها:

ما هو الوضع الراهن للإجهاد المائي على المستوى العالمي، وما هي الاتجاهات المستقبلية المتوقعة في ظل سيناريوهات تغير المناخ المختلفة؟

كيف تتحول أزمة المياه المرتبطة بالمناخ من مشكلة بيئية إلى تهديد وجودي يمس الأمن البشري والاستقرار العالمي؟

ما مدى فعالية الاستراتيجيات والسياسات الحالية للتكيف مع ندرة المياه الناجمة عن تغير المناخ، وما هي الحلول المبتكرة المطلوبة لمواجهة هذا التحدي الوجودي؟

كيف يمكن تحقيق التكامل بين سياسات المناخ وإدارة المياه لضمان أمن مائي مستدام في عالم متغير مناخيا؟

الفرضيات:

استنادا إلى الإشكالية المطروحة والأسئلة الفرعية المنبثقة عنها، تقوم هذه الدراسة على مجموعة من الفرضيات الأساسية التي سيتم اختبارها من خلال تحليل البيانات والأدلة العلمية المتاحة:

الفرضية الأولى: يعمل تغير المناخ كمضاعف للتهديدات المائية القائمة، حيث يؤدي إلى تسريع وتيرة الإجهاد المائي وتوسيع نطاقه الجغرافي بشكل غير مسبوق في التاريخ البشري .

الفرضية الثانية: تتجاوز تأثيرات أزمة المياه المرتبطة بالمناخ الأبعاد البيئية المباشرة لتشكل تهديدا وجوديا متعدد الأبعاد يمس الأمن الغذائي والصحة العامة والاستقرار الاجتماعي والسياسي.

الفرضية الثالثة: تتباين قابلية التأثر بأزمة المياه المناخية بشكل كبير بين المناطق والفئات الاجتماعية، حيث تكون المجتمعات الأقل مساهمة في الانبعاثات الكربونية هي الأكثر عرضة لتداعياتها المائية.

الأهداف:

تهدف هذا الدراسة إلى استكشاف الأبعاد المتعددة للعلاقة المتشابكة بين تغير المناخ وأزمة المياه العالمية، من خلال تحليل الأدلة العلمية والبيانات الرسمية، وتوضيح كيف أن تغير المناخ لا يقتصر على تفاقم مشكلة قائمة، بل إنه يحولها تدريجيا إلى كارثة وجودية تهدد الأمن البشري والاستقرار العالمي.

مراجعة الأدبيات:

• دراسة لـ Jones et al (2024): قدمت هذه الدراسة تقديرا عالميا حديثا للتعرض لندرة المياه الحالية والمستقبلية مع تحسين مهم، يتمثل في إدماج بعد جودة المياه السطحية وليس الكمية فقط، خلصت إلى أن 55% من سكان العالم يتعرضون حاليا لندرة مياه نظيفة لمدة شهر واحد على الأقل سنويا، مقارنة بـ 47% إذا احتسبت الندرة وفق الكمية فقط، ما يعني أن تدهور الجودة يوسع نطاق الندرة ويحولها إلى خطر مركب (كمي/نوعي) يتفاقم مستقبلا، خصوصا في البلدان النامية **(Jones et al., 2024).**

دراسة لـ Wolkeba et al **(2024):** تطرقت هذه الدراسة إلى نقطة نقدية في الأدبيات: لماذا تختلف تقديرات عدد المعرضين لندرة المياه بشدة بين الدراسات؟، حيث أظهرت أن النتائج تتغير جذريا حسب المؤشر المستخدم ودرجة التجميع المكاني والدقة الزمنية، فمثلا اعتبار الندرة على أساس شهر واحد على الأقل سنويا يمكن أن ينتج تقديرات أكبر بكثير مقارنة بالمعدلات السنوية، كما أن التجميع على مستوى الحوض قد يقلل عدد المعرضين مقارنة بالتقييم الشبكي (Wolkeba et al., 2024)**.**

•دراسة لـ Pokhrel, Y., et al **(2021):** قدمت هذه الدراسة (متعددة النماذج) أول تقييم عالمي متكامل لتأثير تغير المناخ على تخزين المياه الأرضية (TWS) وربطه مباشرة بشدة وتواتر الجفاف باستخدام مؤشرTWS-DSI ، وأثبتت أن تغير المناخ قد يقلص التخزين المائي في مناطق واسعة (خاصة أجزاء كبيرة من نصف الكرة الجنوبي) ، وأن انخفاض التخزين يترجم إلى تضاعف محتمل لمساحات وسكان المناطق الشديدة الجفاف مستقبلا (Pokhrel et al., 2021).

•دراسة لـ Li, et al **(2024):** حللت هذه الدراسة تغيرات تخزين المياه الأرضية عالميا، وتوصلت إلى وصول شذوذ تخزين المياه الأرضية إلى مستوى منخفض قياسي في 2023، وأرجعت الجزء الأكبر من الانخفاض إلى عوامل بشرية (خصوصا استنزاف المياه الجوفية واستخدامها في الري) إضافة إلى مساهمات طبيعية مرتبطة بالتذبذبات المناخية (Li et al., 2024)**.**

دراسة لـ الوناس وآخرون (2025): هدفت الدراسة إلى قياس أثر تغير المناخ والنمو الاقتصادي على الضغط المائي في الجزائر خلال 1990–2020 باستخدام نموذج ARDL. وأظهرت النتائج أن زيادة

درجة الحرارة بوحدة واحدة يؤدي إلى رفع الضغط المائي بنحو 15.70 وحدة، كما يزيد بنحو 0.01 وحدة عند زيادة النمو الاقتصادي بوحدة واحدة، بينما تخفض زيادة الأمطار بوحدة واحدة الضغط المائي بنحو 0.45 وحدة (الوناس وآخرون، 2025).

•دراسة لـ Karki, J., et al. **(2025):** قدمت هذه الدراسة الحديثة حصيلة التطورات في الدراسات المتعلقة بتخزين المياه الأرضية، وبينت كيف أصبحت بيانات الأقمار الصناعية أداة محورية لتتبع تغير المخزون المائي، ورصد استنزاف المياه الجوفية وتحديد بؤر التدهور عبر الأحواض الكبرى (Karki et al., 2025).

•دراسة لـ Ravinandrasana & Franzke (2025)**:** طرحت هذه الدراسة مفهوما تطبيقيا متقدما لندرة المياه عبر ما سمته Day Zero Drought (DZD) بوصفه حدثا مركبا يجمع انخفاض الهطول وانخفاض الجريان وارتفاع الاستهلاك، ثم قدرت زمن الظهور الأول لمثل هذه الندرات غير المسبوقة باستخدام إطار احتمالي ومحاكاة مناخية واسعة **(**Ravinandrasana & Franzke, 2025**).**

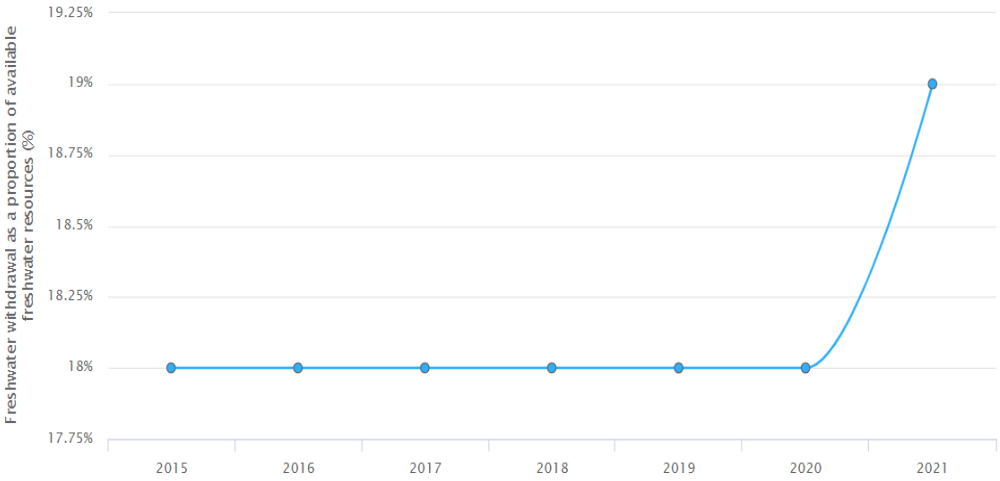
2. الوضع الراهن للإجهاد المائي العالمي:

1.2 تحليل مؤشر الإجهاد المائي العالمي:

لم يعد الماء ينظر إليه بوصفه مجرد مورد طبيعي فحسب، بل أصبح حقا إنسانيا راسخا وأحد ركائز الأمن البشري والبيئي، كما يرتبط ضمان هذا الحق ارتباطا وثيقا بالتنمية الاقتصادية وترسيخ العدالة وتعزيز الاستقرار الاجتماعي، ولا سيما في ظل سياق عالمي يستدعي تضافر الجهود الدولية لبلوغ الأهداف المنشودة وحماية البيئة، مع ضرورة إيجاد توازن بين رفع معدلات النمو الاقتصادي وصون الموارد الطبيعية قبل فوات الأوان **(**Lounnas & Bouchelaghem, 2025**)**، ويمكن أن يؤدي اختلال التوازن إلى الإجهاد المائي، وهو أحد المؤشرات الرئيسة لقياس مدى الضغط على موارد المياه العذبة المتاحة في منطقة معينة، ويعرف مؤشر SDG 6.4.2 بأنه نسبة إجمالي سحب المياه العذبة (بالقطاعات الاقتصادية الرئيسة) إلى إجمالي الموارد المائية العذبة المتجددة المتاحة بعد طرح متطلبات التدفقات والاحتياجات البيئية، بحيث تشير القيم الأعلى إلى ضغط أكبر على الموارد واحتمال أعلى لاحتدام المنافسة بين المستخدمين ويمكن التعبير عنه حسابيا على النحو الآتي (Biancalani & Marinelli, 2021, p. 5) :

$$\text{الإجهاد المائي}(\%) = \frac{\text{إجمالي سحب المياه العذبة}}{\text{الموارد المتجددة} - \text{متطلبات التدفقات البيئية}} \times 100$$

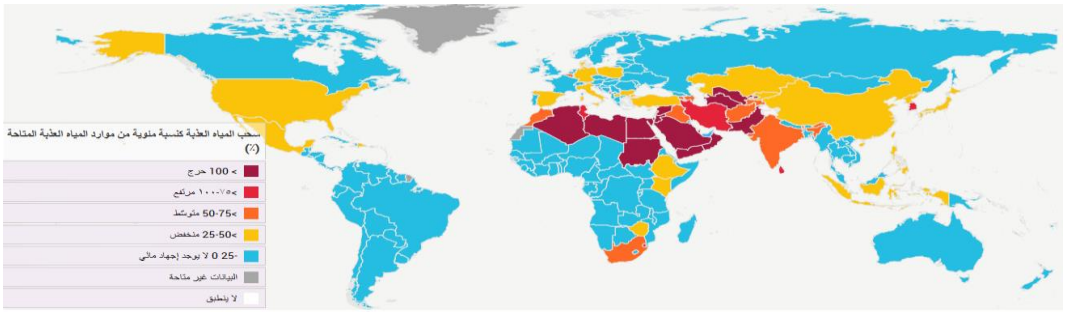
الشكل (01): تطور مستوى الإجهاد المائي العالمي خلال الفترة 2015-2021



المصدر: https://dataportal.unwater.rw1.co.za/ar/indicator/6.4.2

يوضح الشكل استقرار مؤشر الإجهاد المائي حول 18% بين 2015 و2020، قبل أن يرتفع بشكل ملحوظ في 2021 إلى قرابة 19%، ما يشير إلى زيادة مفاجئة في الضغط على الموارد المائية نتيجة ارتفاع السحب أو تراجع الموارد المتجددة أو كليهما، ويستدعي ذلك تحليل العوامل الخاصة بسنة 2021.

الشكل (02): تباين مستوى الإجهاد المائي في العالم خلال سنة 2022



المصدر: https://dataportal.unwater.rw1.co.za/ar/indicator/6.4.2

تظهر الخريطة تباينا مكانيا حادا في الإجهاد المائي مع تمركز المستويات الحرجة في أحزمة الجفاف (خاصة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا)، وفي مناطق الري الكثيف عالية الكثافة السكانية (أجزاء من جنوب آسيا وآسيا الوسطى)، بينما تسود مستويات منخفضة في الأقاليم الغنية بالمياه كحوض الأمازون ووسط أفريقيا وشمال أوروبا، ويعكس هذا التباين تفاعل القيود الطبيعية على الموارد المتجددة وتذبذبها المناخي، وضغط الطلب الناتج عن التوسع الحضري والزراعة المروية والصناعة، مع أهمية التنبيه إلى أن المؤشر الوطني قد يخفي تفاوتا داخل الدولة.

جدول 1: البلدان العشرة الأكثر معاناة من الإجهاد المائي (2021)

الترتيب	الدولة	مستوى الإجهاد المائي 2021 (%)	التغير منذ 2015 (%)
1	الكويت	3850.50	+451.50
2	الإمارات العربية المتحدة	1533.33	-163.03
3	المملكة العربية السعودية	974.17	+25.29
4	ليبيا	817.14	0.00
5	قطر	431.03	0.00
6	اليمن	169.76	0.00
7	باكستان	162.07	+41.28
8	مصر	141.17	+30.24
9	الجزائر	137.92	+11.93
10	تركمانستان	135.21	-9.52

المصدر: من إعداد الباحث استنادا إلى برنامج الأمم المتحدة للمياه (UN-Water). بوابة بيانات الهدف السادس SDG 6 – الجداول (مؤشر 6.4.2: مستوى الإجهاد المائي). https://www.sdg6data.org/en/tables

يظهر الجدول تركزا شديدا للإجهاد المائي في نطاق جغرافي محدد، إذ تتصدر دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا المراتب العشر الأولى، ما يعكس تداخل ندرة الموارد المتجددة (مناخ جاف/شبه جاف) وارتفاع الطلب الناتج عن التحضر والأنشطة الاقتصادية، فضلا عن الاعتماد الواسع على حلول تعويض العجز مثل التحلية وإعادة استخدام المياه، وتعد القيم التي تتجاوز 100% مؤشرا على أن السحب

السنوي يفوق الموارد المتجددة المتاحة بعد احتساب التدفقات البيئية، وهو ما يدل على ضغط هيكلي مزمن على قاعدة الموارد، وليس مجرد تذبذب سنوي عابر.

على مستوى الترتيب، تسجل الكويت مستوى استثنائيا بالغ الارتفاع (3850.50% في 2021) مع زيادة كبيرة منذ 2015 (+451.50 نقطة مئوية)، وهذه القيم المتطرفة عادة ما تعكس مزيجا من انخفاض الموارد المتجددة جدا من جهة، وارتفاع السحب لتلبية احتياجات حضرية/اقتصادية من جهة أخرى، مع الاعتماد على مصادر غير تقليدية لتعويض الفجوة (مثل التحلية)، وفي المرتبة الثانية تسجل الإمارات العربية المتحدة (1533.33%) لكنها تظهر تراجعا منذ 2015 (−163.03)، وهو نمط قد يشير إلى تحسن نسبي في إدارة الطلب، أو تغير في السحب/الموارد المحسوبة، أو توسع أكبر في الإمدادات غير التقليدية مع سياسات كفاءة أعلى مع التأكيد أن بقاء القيمة فوق 100% يعني استمرار ضغط حرج رغم التراجع.

أما المملكة العربية السعودية فتسجل 974.17% مع زيادة منذ 2015 (+25.29)، ودلالته أن الضغوط ما تزال مرتفعة جدا، وتأتي ليبيا (817.14%) وقطر (431.03%) واليمن (169.76%) بقيم مرتفعة للغاية دون تغير يذكر بين 2015 و2021 (0.00)، ما يوحي بأن الضغوط في هذه الحالات هيكلية وثابتة خلال الفترة، وأن تغيرات الطلب لم تكن كبيرة بما يكفي لتغيير مستوى المؤشر أو أن القياس يعكس استقرارا نسبيا في المعطيات المستخدمة.

في المراتب (7–10)، يبرز اختلاف مهم: باكستان (162.07%) ومصر (141.17%) والجزائر (137.92%) تظهر جميعها اتجاها تصاعديا منذ 2015 (+41.28، +30.24، +11.93 على التوالي)، ما يشير إلى تفاقم تدريجي للضغط، غالبا بفعل نمو الطلب (سكان، زراعة، مدن) وتذبذب الإمدادات المرتبط بالمناخ وإدارة الموارد، وهو ما يجعل هذه الدول أقرب إلى مسار تصاعدي مقارنة ببعض دول الخليج التي تظهر قيما فائقة لكن مع استقرار أو انخفاض نسبي، في المقابل تسجل تركمانستان (135.21%) انخفاضا بسيطا منذ 2015 (−9.52) مع بقائها ضمن النطاق الحرج، ما يعني أن التحسن النسبي لم يخرجها من حالة الضغط.

جدول 2: البلدان التي شهدت أكبر زيادة في مستوى الإجهاد المائي (2015–2021)

الترتيب	الدولة	مستوى الإجهاد المائي 2015 (%)	مستوى الإجهاد المائي 2021 (%)	التغير النسبي (%)	التغير المطلق (%)
1	الكويت	3399.00	3850.50	+13.28	**+451.50**
2	باكستان	120.79	162.07	+34.17	**+41.28**
3	مصر	110.93	141.17	+27.26	**+30.24**
4	الرأس الأخضر	37.28	57.18	+53.35	**+19.89**
5	مقدونيا الشمالية	20.83	37.97	+82.29	**+17.14**
6	زيمبابوي	31.87	46.09	+44.62	**+14.22**
7	المكسيك	32.13	45.02	+40.09	**+12.88**
8	الجزائر	125.99	137.92	+9.47	**+11.93**
9	العراق	49.02	59.58	+21.54	**+10.56**

المصدر: من إعداد الباحث استنادا إلى برنامج الأمم المتحدة للمياه (UN-Water). بوابة بيانات الهدف السادس SDG 6 – الجداول (مؤشر 6.4.2: مستوى الإجهاد المائي). https://www.sdg6data.org/en/tables

يوضح الجدول أن أكبر الزيادات في الإجهاد المائي بين 2015 و2021 ليست محصورة في دولة واحدة، بل تتوزع بين دول ذات مستويات حرجة جدا وأخرى ذات مستويات متوسطة، فقد سجلت الكويت أعلى زيادة مطلقة (+451.5 نقطة مئوية) مع بقاء الإجهاد عند مستويات فائقة، ما يعكس ضغطا هيكليا شديدا/ في المقابل تظهر دول مثل مقدونيا الشمالية والرأس الأخضر زيادات نسبية مرتفعة جدا (+82.29% و+53.35%) رغم أن مستوياتها المطلقة أقل، وهو ما يدل على تسارع الضغط من قاعدة أدنى، كما تبرز زيادات باكستان ومصر والعراق والجزائر اتجاها تصاعديا في بلدان كثيفة السكان أو شديدة الاعتماد على الري، ما يعكس تفاقم الفجوة بين الطلب والموارد المتجددة، ويؤكد الحاجة إلى سياسات كفاءة مائية وإدارة أكثر استدامة للموارد (خاصة المياه الجوفية) وتعزيز التكيف مع الجفاف.

جدول 3: تصنيف مستويات الإجهاد المائي وتوزيع سكان العالم (2021)

وصف الحالة	فئة الإجهاد المائي	النسبة المئوية (%)	النسبة التقديرية من سكان العالم (%)
سحب المياه منخفض مقارنة بالموارد المتجددة المتاحة	لا إجهاد (No stress)	0-25%	31
بداية ضغط محدود مع حاجة لمراقبة الطلب وإدارة الكفاءة	منخفض (Low)	25-50%	38
ضغط واضح على الموارد مع ارتفاع مخاطر العجز في سنوات الجفاف	متوسط (Medium)	50-75%	21
ضغط شديد واحتمال مرتفع لنقص الإمدادات واشتداد المنافسة بين المستخدمين	مرتفع (High)	75-100%	2
السحب يتجاوز الموارد المتجددة المتاحة (بعد متطلبات التدفقات البيئية)	حرج (Critical)	أكبر من 100%	8

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على تقرير FAO & UN-Water (2024) الخاص بمؤشر SDG 6.4.2 توزيع السكان حسب فئات الإجهاد المائي لعام **2021** unwater.org

يبين الجدول أن الإجهاد المائي ظاهرة واسعة الانتشار عالميا، إذ يعيش 69% من سكان العالم ضمن فئات تتراوح بين لا إجهاد إلى منخفض (0–50%)، ما يعكس وفرة نسبية أو إدارة طلب أفضل في جزء كبير من الدول، في المقابل يعيش 31% من السكان تحت ضغط مائي متوسط فأعلى (>50%)، وهي نسبة كبيرة تشير إلى قابلية مرتفعة للتأثر بالجفاف وتذبذب الإمدادات، والأهم أن نحو 10% من سكان العالم يقيمون في دول ذات إجهاد مرتفع أو حرج (>75%)، بينها 8% في فئة حرجة تتجاوز فيها المسحوبات الموارد المتجددة المتاحة، ما يعكس اختلالا هيكليا بين الطلب والموارد ويستدعي سياسات عاجلة لرفع الكفاءة وتعزيز الموارد غير التقليدية وحماية التدفقات البيئية.

2.2 العوامل المساهمة في تفاقم الإجهاد المائي:

يتأثر الإجهاد المائي بمجموعة معقدة من العوامل المترابطة، التي يمكن تصنيفها إلى عوامل تؤثر على جانب الطلب (زيادة استهلاك المياه) وعوامل تؤثر على جانب العرض (تراجع توافر المياه)، وفي حين أن بعض هذه العوامل تقليدية وموجودة منذ فترة طويلة، فإن تغير المناخ يبرز كعامل مضاعف يزيد من حدة تأثير العوامل الأخرى ويسرع من وتيرة تفاقم الأزمة.

1.2.2.النمو السكاني والتوسع الحضري :

يعد النمو السكاني أحد المحركات الرئيسية لزيادة الطلب على المياه. فوفقا لتقديرات الأمم المتحدة، من المتوقع أن يرتفع عدد سكان العالم من 7.7 مليار نسمة في عام 2019 إلى 9.7 مليار بحلول عام 2050، هذه الزيادة التي تتركز بشكل أساسي في البلدان النامية ستؤدي حتما إلى زيادة الطلب على المياه للاستخدامات المنزلية والزراعية والصناعية.

بالإضافة إلى ذلك، يشهد العالم توسعا حضريا متسارعا، حيث من المتوقع أن ترتفع نسبة سكان المدن من 55% في عام 2018 إلى 68% بحلول عام 2050 هذا التوسع الحضري يضع ضغوطا إضافية على موارد المياه، ليس فقط بسبب زيادة الاستهلاك المنزلي، ولكن أيضا بسبب التغيرات في أنماط الاستهلاك المرتبطة بالتحضر، والحاجة إلى بنية تحتية مائية موسعة، والتلوث المتزايد لمصادر المياه نتيجة النشاط الحضري.

2.2.2 التنمية الاقتصادية وزيادة الطلب على المياه :

مع نمو الاقتصادات وارتفاع مستويات المعيشة، يزداد الطلب على المياه في مختلف القطاعات فعلى سبيل المثال، يؤدي التحول نحو أنماط غذائية أكثر استهلاكا للمياه (مثل زيادة استهلاك اللحوم والألبان) إلى زيادة البصمة المائية للفرد. كما أن التوسع الصناعي، وخاصة في الصناعات كثيفة الاستهلاك للمياه مثل الطاقة والتعدين والنسيج، يساهم في زيادة الضغط على الموارد المائية.

وفقا لتقرير البنك الدولي حول الأزمة المائية غير المرئية، فإن الطلب العالمي على المياه يتزايد بمعدل 1% سنويا، ومن المتوقع أن يستمر هذا الاتجاه في العقود القادمة، مدفوعا بالنمو الاقتصادي والتغيرات في أنماط الاستهلاك (Damania et al., 2019)

3.2.2 تدهور جودة المياه وتلوثها :

لا تقتصر أزمة المياه على الندرة الكمية فحسب، بل تشمل أيضا تدهور جودة المياه المتاحة، فالتلوث الناجم عن النشاط البشري، سواء من المصادر الزراعية (مثل الأسمدة والمبيدات) أو الصناعية (مثل النفايات السائلة والمعادن الثقيلة) أو المنزلية (مثل مياه الصرف الصحي غير المعالجة)، يقلل من كمية المياه الصالحة للاستخدام، مما يفاقم مشكلة الندرة.

وتشير التقديرات إلى أن حوالي 80% من مياه الصرف الصحي في العالم تعاد إلى البيئة دون معالجة كافية، مما يلوث مصادر المياه السطحية والجوفية، هذا التلوث لا يهدد صحة الإنسان فحسب، بل يضر أيضا بالنظم البيئية المائية، ويزيد من تكاليف معالجة المياه، ويحد من إمكانية إعادة استخدام المياه.

4.2.2 تغير المناخ كعامل مضاعف :

يبرز تغير المناخ كعامل مضاعف يزيد من حدة جميع التحديات المذكورة أعلاه. فارتفاع درجات الحرارة العالمية يؤثر على دورة المياه بطرق متعددة ومعقدة، مما يؤدي إلى(IPCC, 2022) :

–تغير أنماط هطول الأمطار: حيث تشهد بعض المناطق زيادة في كمية الهطول، بينما تعاني مناطق أخرى من تراجع حاد، مما يؤدي إلى توزيع غير متكافئ للموارد المائية

–زيادة وتيرة وشدة الظواهر المناخية المتطرفة: مثل موجات الجفاف والفيضانات، مما يجعل إدارة الموارد المائية أكثر تعقيدا ويزيد من مخاطر الكوارث المرتبطة بالمياه.

–ارتفاع معدلات التبخر: نتيجة ارتفاع درجات الحرارة، مما يقلل من كمية المياه المتاحة في الأنهار والبحيرات والخزانات، ويزيد من الحاجة إلى مياه الري في القطاع الزراعي.

–ذوبان الأنهار الجليدية والغطاء الثلجي: مما يؤثر على توقيت وحجم تدفقات الأنهار التي تعتمد عليها ملايين البشر، خاصة في المناطق الجبلية وسفوحها.

–ارتفاع مستوى سطح البحر: مما يؤدي إلى تسرب المياه المالحة إلى طبقات المياه الجوفية الساحلية، مهدداً مصادر المياه العذبة للمجتمعات الساحلية.

وفقا لتقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ فإن تغير المناخ سيؤدي إلى تفاقم الإجهاد المائي في المناطق التي تعاني بالفعل من ندرة المياه، وسيخلق تحديات جديدة في مناطق كانت تتمتع تقليديا بوفرة في الموارد المائية. كما سيزيد من التباين المكاني والزماني في توافر المياه، مما يجعل إدارة هذا المورد الحيوي أكثر صعوبة وتعقيدا.

3. توقعات الإجهاد المائي المستقبلية في ظل تغير المناخ:

تعتمد التوقعات المستقبلية للإجهاد المائي على مجموعة من العوامل المترابطة، بما في ذلك النمو السكاني والتنمية الاقتصادية والتغيرات التكنولوجية وسياسات إدارة المياه، وبشكل حاسم مسار تغير المناخ، وتستخدم النماذج المناخية والهيدرولوجية مجموعة من السيناريوهات لاستكشاف المسارات المحتملة للإجهاد المائي في العقود القادمة.

1.3 محددات تفاقم الإجهاد المائي مستقبلا: من تغير دورة المياه إلى فجوة العرض والطلب:

يندرج الإجهاد المائي ضمن المؤشرات التي تتأثر بمسارين متداخلين: المسار المناخي الذي يعيد تشكيل العرض المائي، والمسار الاجتماعي والاقتصادي الذي يحدد نمو الطلب وأنماط السحب، وتؤكد تقارير التقييم العلمي الكبرى أن تغير المناخ قد أحدث بالفعل تغيرات في مكونات دورة المياه (الهطول، التبخر، النتح، الثلوج والجليد، الجريان السطحي، الجفاف والفيضانات)، وأن المخاطر المائية ستزداد مع ارتفاع الاحترار العالمي، مع اختلافات مكانية كبيرة من إقليم لآخر(IPCC, 2022) .

أول آلية مركزية لتفاقم الإجهاد تتمثل في ارتفاع التبخر والنتح المحتمل مع ارتفاع الحرارة، ما يقلص المياه الفعالة المتاحة حتى لو لم ينخفض الهطول كثيرا، وثاني آلية تتمثل في تغيرات توزع الهطول زمانيا (ازدياد التطرف والموسمية) وهو ما يرفع صعوبة التخزين ويزيد فقدان المياه بالجريان السريع بدل التغذية. وثالث آلية تتمثل في تراجع التخزين الطبيعي في بعض المناطق (مثل تدهور الثلوج/الجليد أو انخفاض تخزين المياه الأرضية) بما يقلص دور المخزون كوسادة امتصاص للجفاف، في هذا السياق تظهر دراسات حديثة

قائمة على نماذج هيدرولوجية ومناخية أن تغير المناخ قد يقود إلى انخفاض تخزين المياه الأرضية واشتداد مؤشرات الجفاف في مناطق واسعة، ما يعني أن الضغط المستقبلي ليس فقط على التدفقات السطحية بل أيضا على رأسمال التخزين المائي(Pokhrel et al., 2021) .

وتبرز أهمية التفريق بين الندرة والإجهاد الناتج عن المناخ وحده والندرة الناتجة عن تزايد الطلب، فحتى إذا نجحت سياسات المناخ في كبح الاحترار يمكن لتوسع المدن والزراعة والصناعة أن يرفع الإجهاد عبر زيادة السحب، لذلك تذهب الأدبيات إلى أن المخاطر المائية في منتصف القرن تتشكل غالبا من التفاعل بين تغير المناخ والطلب لا من أحدهما منفردا، وهذا ما تجسده نتائج تقييمات متعددة النماذج حول ندرة المياه، فزيادة الاحترار ترفع احتمالات انتقال مناطق جديدة إلى الندرة، لكن حجم التعرض يعتمد كذلك على مسار التنمية وكفاءة الاستخدام(Schewe et al., 2014) .

وعلى مستوى مستويات الاحترار، توضح دراسة مرجعية أن الفرق بين عالم 1.5 **°C** وعالم 2 **°C** ينعكس على نطاق واتساع المخاطر التي تطال نظام المياه العذبة، بحيث تميل مؤشرات الخطر والضغط إلى أن تكون أقل اتساعا عند 1.5 مقارنة بـ 2 درجة، ما يعني أن التخفيف يقلل مساحة المشكلة لكنه لا يزيلها خاصة في الأقاليم الجافة أصلا (Döll et al., 2018).

يمكن القول أن الاتجاه العام هو أن تغير المناخ يدفع نحو زيادة عدم اليقين (في التوافر والتذبذب) ويزيد احتمالات الجفاف وتراجع العرض في أقاليم عديدة، لكن شدة الإجهاد المستقبلي ستتحدد عمليا بمدى قدرة السياسات على رفع كفاءة الطلب وتقليل الفاقد، وتحسين الحوكمة والتخزين والتوزيع، وإدارة الموارد الجوفية باعتبارها مخزنا استراتيجيا وليس تعويضا بلا حدود.

2.3 ملامح التوزيع المكاني للتفاقم: مدن في واجهة الخطر وتعقد الندرة المركبة

تظهر الأدبيات الحديثة أن تفاقم الإجهاد المائي لن يكون متجانسا، بل سيتركز في نقاط ساخنة تمتلك ثلاثة خصائص: مناخ جاف أو متذبذب، وطلب مرتفع أو سريع النمو، وقدرة تخزين وحوكمة محدودة، وتؤكد تحليلات عالمية معاصرة أن المخاطر تزداد خصوصا في مناطق شبه جافة وشديدة الاعتماد على الري أو ذات نمو حضري سريع، مع قابلية أعلى لحدوث أزمات كاختلال العرض والطلب في سنوات

الجفاف، وتظهر دراسات حديثة عن فجوات المياه عالميا أن العجز (الفرق بين الطلب والموارد المتاحة) مرشح للزيادة مع ارتفاع مستويات الاحترار، وبصورة غير متكافئة بين الأقاليم (Ravinandrasana & Franzke, 2025)، وعلى المستوى الحضري تكتسب التوقعات أهمية خاصة، لأن المدن تجمع الكثافة السكانية والطلب الصناعي، وتبين دراسة حول الندرة الحضرية العالمية أن عدد سكان المدن الذين يواجهون ندرة مياه قد يتضاعف تقريبا بحلول 2050، مع تفاوت بحسب السيناريوهات والحلول الممكنة (He et al., 2021).

لا تظهر هذه النتيجة مجرد أزمة إمداد بل تكشف أن الإجهاد المائي الحضري سيكون نتاجا لثلاثة أبعاد مترابطة: تراجع العرض أو تذبذبه ونمو الطلب الحضري وهشاشة البنية التحتية والحوكمة في إدارة الذروة، كما أن التوسع في مفهوم الندرة المركبة باعتبار أن الإجهاد لا يقاس بالكمية فقط بل قد تتسبب جودة المياه (التلوث، الملوحة، المغذيات) في خفض المتاح القابل للاستخدام حتى لو كانت الموارد الكمية موجودة، وتؤكد دراسة حديثة أن تقديرات الندرة والإجهاد تزداد حدة حين تؤخذ جودة المياه السطحية في الحسبان، لأن تدهور الجودة يضيف قيدا فعليا على العرض(Jones et al., 2024) ، وهذا مهم لأن كثيرا من السياسات تركز على سد الفجوة الكمية، بينما يظل تدهور الجودة قادرا على صنع ندرة إضافية ورفع الضغط على الموارد البديلة (المياه الجوفية، التحلية، نقل المياه).

ومن زاوية المخاطر القصوى، تقترح دراسات حديثة مفهوم الفجوة الحرجة عندما يتجاوز الطلب العرض المحلي بشكل يجعل النظام يدخل حالة عجز حاد، وهذه الأزمات قد تتكرر في أقاليم متعددة مع استمرار الاحترار وارتفاع الطلب، بما يجعل الإدارة الاستباقية (إنذار مبكر، خطط جفاف، تسعير مرن، حماية المخزون الجوفي) محورا حاسما لتقليل المخاطر(Ravinandrasana & Franzke, 2025) ، ومن الناحية المنهجية، ينبغي التنبيه إلى أن نتائج الضغط أو الإجهاد تختلف حسب طريقة القياس (سنوية/شهرية، وطنية/حوضية، كمية فقط/كمية وجودة)، ما يجعل المقارنة بين النتائج تتطلب ضبطا لمجموعة الفرضيات، وتؤكد دراسات حديثة أن اختلاف المؤشرات والتمثيل الزماني والمكاني قد ينتج فروقا كبيرة في تقدير السكان المعرضين، ما يستدعي الحذر في نقل الأرقام دون بيان منهجيتها (Wolkeba et al., 2024).

4. الخاتمة

لقد سعت هذه الدراسة إلى استكشاف العلاقة المعقدة والمتشابكة بين تغير المناخ وأزمة المياه العالمية، محاولة إثبات كيف أن هذا التحدي البيئي يتجاوز كونه مجرد مشكلة خطيرة ليتحول إلى تهديد وجودي يمس صميم استقرار المجتمعات والنظم البيئية، من خلال تحليل معمق لأحدث البيانات العلمية والتقارير الدولية تم تأكيد الفرضيات الأساسية التي انطلقت منها الدراسة، والتي تشير بوضوح إلى أن تغير المناخ يعمل كمضاعف للتهديدات المائية القائمة، ويدفع بالعالم نحو مستقبل مائي غير مستقر.

أظهرت النتائج أن الآليات الفيزيائية لتأثير تغير المناخ على دورة المياه متعددة ومتسارعة، بدء من التغيرات الجذرية في أنماط الهطول، مرورا بذوبان الأنهار الجليدية بوتيرة مقلقة، وصولا إلى ارتفاع مستوى سطح البحر الذي يهدد موارد المياه العذبة الساحلية، هذه التغيرات ليست مجرد توقعات مستقبلية بل هي واقع معاش يؤثر على ملايين البشر حول العالم، كما يتضح من بيانات الإجهاد المائي الحالية التي تكشف عن مناطق واسعة، خاصة في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وآسيا الوسطى والجنوبية، تعاني بالفعل من مستويات حرجة أو مرتفعة من ندرة المياه، كما تؤكد التوقعات المستقبلية أن هذا الوضع مرشح للتفاقم في العقود القادمة مما يضع ضغوطا هائلة على الموارد المائية المتاحة.

إن تداعيات أزمة المياه المرتبطة بالمناخ تتجاوز بكثير الأبعاد البيئية المباشرة، فهي تشكل تهديدا وجوديا متعدد الأوجه يمس الأمن الغذائي العالمي من خلال تأثيرها على الإنتاج الزراعي، ويهدد الصحة العامة عبر انتشار الأمراض المنقولة بالمياه وتدهور خدمات الصرف الصحي، ويغذي الهجرة القسرية والنزوح البيئي، ويزيد من احتمالات نشوب النزاعات والصراعات على الموارد المائية الشحيحة، إن الترابط الوثيق بين هذه التحديات يجعل من أزمة المياه المناخية عاملا رئيسيا في زعزعة الاستقرار الاجتماعي والسياسي والاقتصادي على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

كما أبرزت الدراسة قصور الاستراتيجيات الحالية لإدارة المياه في مواجهة هذا التحدي المتصاعد، فالعديد من السياسات والنظم القائمة لا تزال تعتمد على افتراضات استقرار مناخي لم تعد صالحة، وتفتقر إلى المرونة والقدرة على التكيف مع التغيرات السريعة وغير المسبوقة في دورة المياه، وهناك حاجة ماسة إلى

إعادة التفكير بشكل جذري في كيفية إدارة مواردنا المائية، والانتقال من نهج الإدارة التقليدي القائم على العرض إلى نهج متكامل يركز على إدارة الطلب، وتعزيز الكفاءة، وتطوير مصادر مياه غير تقليدية، وتبني حلول قائمة على الطبيعة.

إن مواجهة هذا التحدي الوجودي تتطلب استجابة عالمية عاجلة ومتكاملة تتجاوز الحلول الجزئية أو المنعزلة. يجب أن يجمع هذا النهج بين ثلاثة محاور رئيسية:

- التكيف الاستباقي مع التغيرات المناخية الحتمية: حتى مع جهود التخفيف فإن بعض التغيرات المناخية وتأثيراتها على المياه أصبحت حتمية لذا يجب الاستثمار بشكل كبير في بناء المرونة المائية، وتطوير بنية تحتية قادرة على الصمود، وتعزيز نظم الإنذار المبكر، ودعم المجتمعات الأكثر ضعفا في التكيف مع ندرة المياه أو الفيضانات.
- الإدارة المتكاملة والمستدامة للموارد المائية: يجب إصلاح نظم إدارة المياه لتعكس الواقع المناخي الجديد، وتعزيز التعاون عبر الحدود في إدارة الأحواض المائية المشتركة، وتطبيق مبادئ الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وتشجيع الابتكار في تقنيات الحفاظ على المياه وإعادة استخدامها وتحليتها.
- علاوة على ذلك، يجب أن تتأسس هذه الاستجابة على مبادئ العدالة المناخية والمائية، مع الاعتراف بالمسؤوليات المتباينة عن التسبب في المشكلة، والتأكد من أن أعباء التكيف لا تقع بشكل غير متناسب على عاتق المجتمعات الأكثر فقرا وضعفا. يتطلب ذلك آليات تمويل مبتكرة، ونقل التكنولوجيا، وبناء القدرات لدعم البلدان النامية في مواجهة هذا التحدي.

ختاما، إن أزمة المياه العالمية المتفاقمة بفعل تغير المناخ، ليست مجرد مشكلة بيئية أو تحد تقني، بل هي قضية وجودية تمس صميم مستقبل البشرية، إن التقاعس عن اتخاذ إجراءات حاسمة اليوم سيعرض الأجيال القادمة لمستقبل يسوده العطش والصراع وعدم الاستقرار، كما أن الوقت ينفد والمسؤولية تقع على عاتقنا جميعا، حكومات ومنظمات دولية ومجتمع مدني وقطاع خاص وأفراد للعمل معا من أجل بناء مستقبل مائي آمن ومستدام للجميع.

5. قائمة المراجع

المقالات

- الوناس سفيان، مخلوف خير الدين، ورزقي عبد المنعم (2025). تقييم أثر تغير المناخ والنمو الاقتصادي على مستوى الضغط المائي في الجزائر: دراسة قياسية للفترة 1990–2020. مجلة الدراسات القانونية والاقتصادية، 8(1)، 218–234.

- Aboelnga, H. T., Ribbe, L., Frechen, F. B., & Saghir, J. (2020). Urban water security: Definition and assessment framework. Resources, 9 (8), 102. https://doi.org/10.3390/resources9080102
- Biancalani, R., & Marinelli, M. (2021). Assessing SDG indicator 6.4.2 'level of water stress' at major basins level. *UCL Open Environment, 3, e026. https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000026
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. npj Clean Water, 2*(1), 1–6. https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A. S., Russ, J., & Zaveri, E. (2019). Quality unknown: The invisible water crisis. World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1459-4
- Döll, P., Trautmann, T., Gerten, D., Schmied, H. M., Ostberg, S., Saaed, F., & Schleussner, C. F. (2018). Risks for the global freshwater system at 1.5 °C and 2 °C global warming. Environmental Research Letters, 13*(4), 044038. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab792
- Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. Nature Climate Change, 4 (11), 945–948. https://doi.org/10.1038/nclimate2425
- Gleick, P. H. (2018). Transitions to freshwater sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115 (36), 8863–8871. https://doi.org/10.1073/pnas.1808893115
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. Nature Communications, 12, 4667. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3
- Huggel, C., Bouwer, L. M., Juhola, S., & Mechler, R. (2022). Existential risks to humanity should concern international policymakers. Nature Climate Change, 12 (7), 597–599. https://doi.org/10.1038/s41558-022-01388-4

- Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., Bahl, A., Biemans, H., Bolch, T., … Baillie, J. E. M. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers. Nature, 577 (7790), 364–369. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/
- IPCC. (2022). Water. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Chap. 4). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-4/
- Jones, E. R., Bierkens, M. F. P., & van Vliet, M. T. H. (2024). Current and future global water scarcity intensifies when accounting for surface water quality. Nature Climate Change, 14 (6), 629–635. https://doi.org/10.1038/s41558-024-02007-0
- Karki, J., Hu, J., Zhu, Y., Afzal, M. M., Xie, F., & Liu, S. (2025). Advances in GRACE satellite studies on terrestrial water storage: A comprehensive review. *Geocarto International (Advance online publication), Article 2482706. https://doi.org/10.1080/10106049.2025.2482706
- Kummu, M., Guillaume, J. H. A., de Moel, H., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., … Ward, P. J. (2016). The world's road to water scarcity: Shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific Reports, 6, 38495. https://doi.org/10.1038/srep38495
- Li, B., & Rodell, M. (2024). Terrestrial water storage in 2023. Nature Reviews Earth & Environment, 5. https://doi.org/10.1038/s43017-024-00545-x
- Lounnas, S., & Bouchelaghem, A. (2025). Assessing the impact of economic growth and water stress on per capita freshwater availability: An econometric analysis of Algeria (1990–2020). Finance and Business Economics Review, 9(1), 114–126. https://doi.org/10.58205/fber.v9i1.1940
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2 (2), e1500323. https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323

- Mukherjee, A., Bhanja, S. N., & Wada, Y. (2018). Groundwater depletion causing reduction of baseflow triggering Ganges River summer drying. Scientific Reports, 8, 12049. https://doi.org/10.1038/s41598-018-30246-7
- Pokhrel, Y., Felfelani, F., Satoh, Y., Boulange, J., Burek, P., Gädeke, A., Gerten, D. (2021). Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. Nature Climate Change, 11, 226–233. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00972-w
- Ravinandrasana, V. P., & Franzke, C. L. E. (2025). The first emergence of unprecedented global water scarcity in the Anthropocene. Nature Communications, 16 (1), 8281. https://doi.org/10.1038/s41467-025-63784-6
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoing, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M.-H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. Nature, 557 (7707), 651–659. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., … Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111 (9), 3245–3250. https://doi.org/10.1073/pnas.1222460110
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., … Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467 (7315), 555–561. https://doi.org/10.1038/nature09440
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., … Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. Geoscientific Model Development, 9 (1), 175–222. https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016
- Wheeler, K. G., Hall, J. W., Abdo, G. M., Dadson, S. J., Kasprzyk, J. R., Smith, R., & Zagona, E. A. (2020). Exploring cooperative transboundary river management strategies for the Eastern Nile Basin. Water Resources Research, 56 (2), e2019WR026651. https://doi.org/10.1029/2019WR026651
- Wolkeba, F. T., Mekonnen, M. M., Brauman, K. A., & Kumar, M. (2024). Indicator metrics and temporal aggregations introduce ambiguities in water scarcity estimates. Scientific Reports, 14, 15182. https://doi.org/10.1038/s41598-024-65155-5

- Zaveri, E., Grogan, D. S., Fisher-Vanden, K., Frolking, S., Lammers, R. B., Wrenn, D. H., … Nicholas, R. E. (2016). Invisible water, visible impact: Groundwater use and Indian agriculture under climate change. Environmental Research Letters, 11 (8), 084005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084005

مواقع الأنترنت

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). AQUASTAT: Global information system on water and agriculture. https://www.fao.org/aquastat/
- SDG 6 Data Portal. (n.d.). Indicator 6.4.2: Level of water stress (tables). Retrieved August 10, 2025, from https://www.sdg6data.org/en/tables
- UN-Water. (2023). SDG 6 indicator 6.4.2: Level of water stress – Progress update. https://www.unwater.org/our-work/sdg-6-indicators/6-4-2-level-of-water-stress
- UNESCO. (2023). United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. UNESCO (on behalf of UN-Water). https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/en
- World Bank. (2021). World Development Report 2021: Data for better lives. World Bank. https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2021