O₂ Climate Knowledge System



حين يصبح الثلج ضيفاً نادراً

قراءة مناخية في جغرافيا الزرقاء والاحترار الإقليمي والبيئة الصناعية

إعداد وتحليل: نورعياش

ضمن مشروع O_2 – Climate Knowledge Reimagined

أغسطس 2026

الملخص

لماذا يمكن أن تشهد مناطق مرتفعة في الأردن تساقطاً للثلوج، بينما تبقى مدينة الزرقاء غالباً خارج المشهد الأبيض؟

قد تبدو الإجابة بسيطة: الزرقاء أقل ارتفاعاً وأكثر دفئاً. لكن الصورة المناخية أكثر تعقيداً.

تتناول هذه الدراسة حالة مدينة الزرقاء من خلال تحليل ثلاثة مستويات مترابطة: الجغرافيا والطبوغرافيا، والتغير المناخي الإقليمي، والبيئة الحضرية والصناعية. وتشير الأدلة المتاحة إلى أن انخفاض الارتفاع والموقع الجغرافي لحوض الزرقاء يمثلان عوامل أساسية في ندرة تراكم الثلوج، بينما يؤدي الاحترار المناخي إلى تقليص احتمالية توفر الظروف الحرارية المناسبة للهطول الثلجي.

وتشير دراسة منشورة عام 2023 حول حوض عمان–الزرقاء إلى انخفاض إجمالي الهطول السنوي بنحو 14.61% خلال الفترة 1970–2018، إلى جانب اتجاه متزايد في درجات الحرارة.

وفي الوقت نفسه، تظهر بيانات وتحليلات حديثة أن مدينة الزرقاء تشهد تغيرات ملحوظة في درجات حرارة سطح الأرض، ما يجعل دراسة أثر التوسع العمراني والأنشطة الصناعية على المناخ المحلي مسألة مهمة. فقد أشار تحليل للبنك الدولي إلى ارتفاع متوسط درجة حرارة سطح المدينة صيفاً من 46.4°C عام 2013 إلى 49.4°C عام 2021، أي زيادة قدرها نحو 3°C خلال ثماني سنوات في بيانات حرارة السطح المستخدمة في التحليل. كما أشار التقرير إلى أهمية الانتباه إلى التأثيرات البيئية للمناطق الصناعية ذات الكثافة العالية في الزرقاء.

لكن هذه الدراسة لا تدعي أن الصناعة أو مصفاة البترول هي السبب المباشر في اختفاء الثلوج من الزرقاء. فهذا الاستنتاج يحتاج إلى قياسات جوية ميدانية ونمذجة مناخية دقيقة. وبدلاً من ذلك، تقدم الدراسة فرضية قابلة للاختبار حول كيفية تفاعل الارتفاع، والاحترار الإقليمي، والتحضر، والأنشطة الصناعية في تشكيل مناخ الزرقاء المحلي.

1. مقدمة: عندما يصبح الثلج مؤشراً مناخياً

في الأردن، لا يمثل الثلج مجرد ظاهرة جميلة مرتبطة بالشتاء؛ بل يمكن النظر إليه بوصفه مؤشراً حساساً للظروف الحرارية والرطوبية في الغلاف الجوي.

فلكي يصل الهطول إلى الأرض على شكل ثلج ويتراكم، يجب أن تتوافر مجموعة من الظروف الجوية، أهمها درجات حرارة مناسبة في الطبقات الجوية التي تعبرها البلورات الثلجية، إضافة إلى توفر الرطوبة والديناميكية الجوية المناسبة.

لذلك فإن الفرق بين مدينة تستقبل الثلوج ومدينة تستقبل المطر أثناء المنخفض الجوي نفسه قد يكون صغيراً من حيث درجة الحرارة، لكنه كبير من حيث النتيجة.

وهنا تظهر الزرقاء كحالة مناخية مثيرة للاهتمام: مدينة تقع على ارتفاع متوسط، في منطقة شبه جافة، وتحت تأثير حضري وصناعي واضح، ضمن إقليم يشهد أصلاً تغيراً مناخياً سريعاً.

2. الزرقاء: الجغرافيا التي تضع سقفاً لاحتمالات الثلج

تقع الزرقاء ضمن حوض الزرقاء في شمال شرق الأردن، ويبلغ ارتفاع مركز المدينة نحو 619 متراً فوق سطح البحر وفق البيانات الجغرافية المتاحة.

وهذا الارتفاع أقل من العديد من المناطق الجبلية في غرب وشمال غرب الأردن التي تتمتع بفرص أكبر لتساقط الثلوج.

لماذا يمثل الارتفاع فرقاً مهماً؟

مع الارتفاع، تنخفض درجة حرارة الهواء في الغلاف الجوي في المتوسط. لذلك فإن منطقة تقع على ارتفاع أكبر تكون عادة أكثر ملاءمة لبقاء الهطول في الحالة الصلبة عندما تمر كتلة هوائية باردة.

أما في مدينة تقع على ارتفاع متوسط مثل الزرقاء، فقد تصل البلورات الثلجية من السحب إلى طبقة هوائية أكثر دفئاً بالقرب من سطح الأرض، فتذوب جزئياً أو كلياً قبل وصولها إلى الأرض.

وهنا يجب التفريق بين أمرين:

تساقط الثلج ≠ تراكم الثلج.

قد تشهد الزرقاء في حالات جوية معينة هطولاً ثلجياً أو خليطاً من المطر والثلج، لكن ارتفاع درجة حرارة السطح أو الطبقات القريبة منه قد يمنع حدوث تراكم مستمر.

3. هل الموقع الجغرافي مهم أيضاً؟

نعم.

لا تعتمد كمية الهطول ونوعه على الارتفاع وحده. فالتضاريس تؤثر في حركة الكتل الهوائية وفي تكوّن السحب والهطول.

وتقع الزرقاء شرق المرتفعات الغربية للأردن، ولذلك فإن الظروف الجوية التي تصل إليها تختلف عن تلك التي تؤثر في المرتفعات الغربية الأعلى.

ومن المهم هنا عدم تبسيط الظاهرة بالقول إن "الجبال تسرق الثلج من الزرقاء". الأدق علمياً أن التضاريس تؤثر في رفع الهواء، وتبريده، وتوزيع الهطول مكانياً، وبالتالي في احتمالية وصول ظروف مناسبة للثلوج إلى كل منطقة.

وهذا يجعل الموقع الجغرافي عاملاً أساسياً في تفسير الفروق بين الزرقاء والمرتفعات الغربية.

4. العامل الذي تغير: المناخ

إذا كانت الجغرافيا تفسر لماذا كانت الزرقاء أصلاً أقل ملاءمة للثلوج، فإن التغير المناخي يطرح سؤالاً آخر:

هل أصبحت الظروف التي كانت تسمح بالثلوج أقل تكراراً؟

الأدلة المناخية للأردن تشير إلى اتجاه واضح نحو ارتفاع درجات الحرارة وتغير أنماط الهطول.

وتشير بيانات للبنك الدولي إلى أن درجات الحرارة القصوى السنوية في الأردن ارتفعت تاريخياً بنحو 0.3–1.8°C، بينما ارتفعت درجات الحرارة الدنيا بنحو 0.4–2.8°C بحسب المنطقة والفترة الزمنية المستخدمة في التحليل. كما تشير البيانات إلى انخفاض الهطول السنوي بنسب تتراوح تقريباً بين 5% و20% وفق التباين الإقليمي.

وفي حوض عمان–الزرقاء تحديداً، وجدت دراسة اعتمدت بيانات يومية للفترة 1970–2018 انخفاضاً قدره 14.61% في إجمالي الهطول السنوي واتجاهاً متزايداً في متوسط درجات الحرارة.

هذه الأرقام لا تعني أن كل شتاء سيكون أقل مطراً أو أن الثلوج ستختفي نهائياً، لكنها تشير إلى تغير طويل الأمد في خط الأساس المناخي الذي تحدث ضمنه المنخفضات الشتوية.

5. لماذا يمكن أن يؤثر الاحترار في الثلج أكثر من المطر؟

هذه واحدة من أهم النقاط لفهم الظاهرة.

عندما تكون درجة الحرارة قريبة جداً من نقطة التجمد، فإن ارتفاعاً صغيراً في الحرارة يمكن أن يغير نوع الهطول من:

مطر → مطر وثلج → ثلج رطب → ثلج .

ولهذا فإن المناطق متوسطة الارتفاع تكون حساسة بشكل خاص للتغيرات الصغيرة في درجات الحرارة خلال العواصف الشتوية.

ولا يعني الاحترار المناخي أن العواصف الباردة ستختفي تماماً؛ بل يعني أن النافذة الحرارية التي تسمح بتراكم الثلوج تصبح أكثر صعوبة في التحقق.

وتشير الأدبيات الإقليمية إلى أن بلاد الشام والأردن تشهد ارتفاعاً في درجات الحرارة وتراجعاً في الغطاء الثلجي، مع توقع استمرار اتجاه الاحترار خلال العقود القادمة.

6. الزرقاء ليست مجرد مدينة: إنها نظام حضري وصناعي

تتميز الزرقاء بكثافة عمرانية وصناعية مرتفعة، ما يجعل دراسة مناخها المحلي أكثر تعقيداً من دراسة منطقة ريفية مفتوحة.

وتشير دراسة حديثة عن منطقة عمان–الزرقاء الحضرية إلى أن العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض ودرجة حرارة الهواء تختلف مكانياً وزمنياً داخل المنطقة الحضرية، ما يؤكد أن المناخ المحلي لا يكون متجانساً داخل المدينة الواحدة.

كما أن دراسة للبنك الدولي حول مخاطر المناخ الحضري في الأردن وجدت أن متوسط درجة حرارة سطح الأرض في الزرقاء خلال الصيف ارتفع من 46.4°C في 2013 إلى 49.4°C في 2021 في بيانات الاستشعار عن بعد المستخدمة في التقرير. وأشار التحليل إلى أن التغير الحراري كان غير متساوٍ مكانياً، وأن المناطق الصناعية تستحق اهتماماً خاصاً بسبب التأثيرات البيئية المرتبطة بالاستخدامات الصناعية للأراضي.

وهنا تظهر نقطة مهمة:

درجة حرارة سطح الأرض ليست هي درجة حرارة الهواء.

لذلك لا يجوز استخدام الرقم 49.4°C للقول إن الهواء في الزرقاء بلغ هذه الدرجة. الرقم يمثل حرارة سطح الأرض، وهو مؤشر مختلف علمياً.

7. ماذا عن مصفاة البترول والكربون الأسود؟

هنا يجب أن نكون أكثر حذراً.

تنتج عمليات الاحتراق والصناعة أنواعاً مختلفة من الملوثات والهباءات الجوية، ومن بينها الكربون الأسود (Black Carbon).

والكربون الأسود ليس مجرد ملوث هوائي؛ بل هو أيضاً ملوث مناخي قصير العمر قادر على امتصاص الإشعاع الشمسي والتأثير في ميزان الطاقة في الغلاف الجوي.

وتؤكد مراجعة حديثة نشرتها مجلة Nature Reviews Earth & Environment عام 2026 أن الكربون الأسود له تأثيرات مناخية مهمة، لكن حجم تأثيره يعتمد على تركيزاته ومصادره وخصائصه البصرية وتفاعلاته مع الغلاف الجوي والسحب، ولا تزال هناك حالات عدم يقين مهمة في تقدير بعض هذه التأثيرات.

كما تشير الأدبيات العلمية إلى أن الجسيمات الكربونية الممتصة للضوء يمكن أن تسخن الغلاف الجوي وتؤثر في السحب والهطول، لكن هذه التفاعلات معقدة ولا يمكن اختزالها في قاعدة تقول:

"المزيد من التلوث = لا ثلوج."

فالتأثير يعتمد على نوع الهباء، وتركيزه، وارتفاعه، والرطوبة، وحركة الهواء، وخصائص السحب، ودرجة الحرارة.

لذلك فإن القول بأن انبعاثات المصفاة "تمنع الثلج" سيكون استنتاجاً غير مثبت.

أما القول بأن الانبعاثات الصناعية قد تؤثر في المناخ المحلي وجودة الهواء وتستحق الدراسة ضمن تفسير المناخ الحضري للزرقاء فهو استنتاج علمي أكثر تحفظاً وقابلية للدفاع.

8.إذن، ما الذي يفسر ندرة الثلج في الزرقاء؟

يمكن بناء التفسير العلمي في ثلاث طبقات:

الطبقة الأولى — الجغرافيا

الارتفاع + التضاريس + الموقع بالنسبة لمسارات الكتل الهوائية

وهي عوامل طويلة الأمد تفسر لماذا تكون الزرقاء أقل ملاءمة للثلوج من المرتفعات الأعلى.

الطبقة الثانية — تغير المناخ

ارتفاع درجات الحرارة + تغير الهطول + تغير خصائص موجات البرد

وهي عوامل تغير خط الأساس الذي تحدث فيه العواصف الشتوية.

الطبقة الثالثة — البيئة الحضرية والصناعية

التوسع العمراني + تغير استخدامات الأراضي + الحرارة السطحية + الانبعاثات والهباءات

وهي عوامل قد تعدّل المناخ المحلي، لكن مقدار تأثيرها على تساقط الثلوج تحديداً لا يزال يحتاج إلى قياس ونمذجة محلية.

9.كيف يمكن إثبات تأثير الصناعة مستقبلاً؟

يمكن تحويل هذه الدراسة من دراسة حالة تحليلية إلى بحث مناخي كمي متكامل من خلال:

إنشاء شبكة من محطات قياس درجة حرارة ورطوبة داخل الزرقاء وحول المناطق الصناعية.

مقارنة البيانات مع محطات تقع خارج التأثير الحضري والصناعي.

تحليل بيانات درجات الحرارة خلال جميع حالات المنخفضات الثلجية والمطرية.

استخدام صور Landsat وMODIS لدراسة التغير في درجة حرارة سطح الأرض.

تحليل اتجاهات درجات الحرارة والهطول على مدى عدة عقود.

دراسة تركيزات 2.5PM وBlack Carbon وNOx وSO$_2$ أثناء العواصف الشتوية.

استخدام نماذج جوية عالية الدقة مثل WRF لمحاكاة تأثير التضاريس والتحضر والانبعاثات.

إجراء دراسة Attribution لتحديد مقدار مساهمة كل عامل.

عندها فقط يمكن الإجابة عن السؤال الأكثر إثارة:

كم من الفرق الذي نراه بين الزرقاء والمرتفعات يعود إلى الجغرافيا، وكم منه تغير مع المناخ، وكم منه يمكن أن يرتبط بالتوسع الحضري والصناعي؟

10. توصيات مناخية لمدينة الزرقاء

بدلاً من التركيز فقط على "إعادة الثلج"، ينبغي أن يكون الهدف هو بناء مدينة أكثر قدرة على التكيف مع الاحترار.

أ. إنشاء شبكة رصد مناخي حضرية

محطات صغيرة موزعة بين المناطق السكنية والصناعية والمناطق المفتوحة، لقياس:

درجة الحرارة.

الرطوبة.

سرعة الرياح.

الجسيمات الدقيقة.

الكربون الأسود.

الإشعاع الشمسي.

ب. استخدام الاستشعار عن بعد

تحديث خرائط حرارة سطح الأرض بصورة دورية للكشف عن البؤر الحرارية وتحديد المناطق الأكثر تعرضاً للحرارة.

ج. زيادة الغطاء الأخضر

التشجير الحضري ليس حلاً سحرياً للمناخ، لكنه يمكن أن يساهم في تحسين الراحة الحرارية وتقليل بعض آثار الحرارة السطحية عندما يُخطط له وفق احتياجات المياه المحلية.

د. خفض الانبعاثات الصناعية

تطبيق أفضل تقنيات التحكم في الانبعاثات وتحسين كفاءة الطاقة ومراقبة الملوثات بصورة مستمرة، مع التركيز على الفوائد المشتركة للمناخ والصحة العامة.

هـ. حماية سيل الزرقاء

إعادة تأهيل البيئة المائية والغطاء النباتي حول السيل يمكن أن تكون جزءاً من استراتيجية أوسع لاستعادة النظم البيئية وتحسين جودة البيئة الحضرية.

11. الخلاصة: الثلج ليس القصة كلها

قد يبدو السؤال بسيطاً:

لماذا لا تتساقط الثلوج في الزرقاء؟

لكن الإجابة تكشف قصة أكبر عن تغير المناخ في الأردن.

الزرقاء لم تصبح أقل ملاءمة للثلج بسبب عامل واحد. في ارتفاعها المتوسط وموقعها الجغرافي يضعونها أصلاً في منطقة أقل احتمالاً لتراكم الثلوج مقارنة بالمرتفعات الأعلى.

لكن المناخ الذي تحدث فيه هذه المنخفضات لم يعد ثابتاً.

الأردن يزداد دفئاً، وتظهر تغيرات في الهطول، بينما تشهد المدن توسعاً عمرانياً وتغيراً في خصائص سطح الأرض. وفي الزرقاء، تضيف الكثافة الصناعية طبقة أخرى من التعقيد تستحق البحث العلمي.

لذلك فإن غياب الثلج ليس دليلاً منفرداً على تغير المناخ، لكنه يمكن أن يكون جزءاً من قصة مناخية أكبر عندما يُقرأ إلى جانب سجلات درجات الحرارة والهطول والغطاء الثلجي والتغيرات البيئية طويلة الأمد.

والسؤال الذي يجب أن نطرحه ليس فقط:

"متى ستسقط الثلوج في الزرقاء؟"

بل:

"كيف سيتغير مناخ الزرقاء خلال العقود القادمة، وكيف نستعد له؟"

وهنا تتحول قصة الثلج من ظاهرة شتوية عابرة إلى نافذة لفهم مستقبل مدينة كاملة.

المراجع العلمية

. Al Saodi, R., Al Kuisi, M., & Al Salaymeh, A. (2023).

Assessing the vulnerability of flash floods to climate change in arid zones: Amman–Zarqa Basin, Jordan.

Journal of Water and Climate Change.

. Al-Hasani, I., Al-Qinna, M., & Hammouri, N. A. (2023).

Potential Impacts of Climate Change on Surface Water Resources in Arid Regions Using Downscaled Regional Circulation Model and Soil Water Assessment Tool, a Case Study of Amman-Zerqa Basin, Jordan.

Climate, 11(3), 51.

World Bank.

Jordan Urban Climate Risk Analysis.

. World Bank.

Jordan Country Climate and Development Report.

Jordan Country Climate and Development Report

Gustafsson, Ö., Budhavant, K., Chimurkar, N., et al. (2026).

Atmospheric black carbon in the climate system.

Nature Reviews Earth & Environment, 7, 312–328.

Nature Reviews Earth & Environment – Black Carbon 2026

. Othman, H. A. S., & Alshboul, A. A. (2020).

The role of urban morphology on outdoor thermal comfort: The case of Al-Sharq City – Az Zarqa.

Urban Climate, 34, 100706.

ScienceDirect – الدراسة

. Spatial and temporal variabilities in land surface temperatures and near-surface air temperatures in an arid to semiarid urban region: implications for urban heat island research (2024).

. Schwarz, J. P., et al. (2013).

Black carbon aerosol size in snow.

Scientific Reports, 3, 1356.

Nature Scientific Reports – الدراسة