O_2 Climate Knowledge System

حين يصل تغير المناخ إلى الأعماق
التحول المتسارع في البحر المتوسط

تمهيد

من سطح البحر يبدو التغير المناخي واضحًا في ارتفاع درجات الحرارة، وتكرار موجات الحر البحرية، وتغير حالة السواحل. لكن البحر لا ينتهي عند سطحه.

تحت الطبقة التي نراها، تتحرك كتل هائلة من المياه تحمل معها الحرارة والملوحة، وتتبادلها بين الطبقات والأحواض. ولذلك فإن معرفة ما يحدث في أعماق البحر قد تكون أكثر أهمية من مراقبة سطحه وحده؛ لأن التغير الذي يصل إلى المياه العميقة لا يمثل مجرد ارتفاع مؤقت في درجة الحرارة، بل قد يعكس تحولًا في خصائص المياه وحركتها داخل النظام البحري بأكمله.

، جمع باحثون بيانات بحرية من مصادر متعددة تمتد من عام Geophysical Research Lettersوفي دراسة حديثة نُشرت في مجلة 1950 حتى 2025، بهدف تتبع تغير درجة الحرارة والملوحة والكثافة في البحر المتوسط من السطح إلى الأعماق.

تكشف النتائج أن المتوسط لا يزداد دفئًا وملوحة فحسب؛ بل إن معدل هذا التغير نفسه يتسارع، وتمتد إشاراته إلى المياه المتوسطة والعميقة.

وهنا تكمن أهمية الاكتشاف:

تغير المناخ لا يغيّر سطح البحر فقط؛ بل يعيد تشكيل خصائص المياه داخل البحر نفسه، من الأعلى إلى الأعماق.

كيف عرف العلماء أن التغير وصل إلى الأعماق؟

لا يمكن مراقبة البحر المتوسط بأكمله بصورة مستمرة من السطح إلى القاع. ولهذا احتاج الباحثون إلى جمع سجلات رصدية مختلفة تمتد لعقود.

استخدمت الدراسة قياسات تاريخية لخصائص المياه، إلى جانب بيانات حديثة من العوامات البحرية الآلية وقياسات ميدانية إقليمية. وبعد جمع البيانات، جرى توحيدها ومراقبتها للتأكد من جودتها قبل تحليل التغيرات عبر الزمن والأعماق.

وشملت الدراسة أعماقًا تمتد من قرب السطح إلى مستويات تصل إلى نحو 3,000 متر في شمال غرب المتوسط، ونحو 4,000 متر في البحر الأيوني وحوض المشرق، حيث تتوفر قياسات عميقة كافية.

ثم لم يكتفِ الباحثون بحساب ما إذا كانت الحرارة والملوحة ترتفعان، بل بحثوا أيضًا في سؤال أكثر دقة:

هل يتغير معدل الارتفاع نفسه مع مرور الزمن؟

وهنا ظهر جانب مهم من القصة.

فالدراسة استخدمت نماذج إحصائية لتمييز التغير المستمر عن التسارع في معدل التغير، أي معرفة ما إذا كان المسار أقرب إلى خط ثابت أم أن معدل التغير أصبح أكبر مع مرور الوقت.

الحرارة لا تتوقف عند السطح

أظهرت البيانات إشارة واضحة للارتفاع الحراري تبدأ من السطح ثم تمتد تدريجيًا إلى الطبقات الأعمق.

وفي أحد التحليلات، بلغت شذوذات درجات الحرارة في السنوات الأخيرة نحو 2.04 درجة مئوية في الطبقة بين السطح و100 متر، ونحو 1.13. درجة مئوية بين 100 و300 متر، ونحو 0.62 درجة مئوية بين 300 و1,000 متر

وحتى على عمق يتراوح بين 1,000 و2,000 متر، بقيت إشارة الاحترار قابلة للرصد، وبلغت في المتوسط نحو 0.21 درجة مئوية في ذلك التحليل.

والأهم أن ظهور الإشارة الموجبة كان يتأخر كلما ازداد العمق، وهو ما يتوافق مع انتقال تأثير الاحترار من الطبقات العليا نحو المياه الأعمق.

هذه الأرقام لا تعني أن البحر كله يسخن بالدرجة نفسها في الوقت نفسه؛ بل تكشف عن بنية رأسية للتغير، يكون فيها الاحترار أقوى قرب السطح ويضعف تدريجيًا مع العمق، مع بقائه قابلًا للرصد في الطبقات العميقة.

ما الذي حدث بين القرن العشرين والقرن الحادي والعشرين؟

، ظهرت صورة واسعة النطاق:2025–2000والفترة 1999–1950عندما قارن الباحثون خصائص المياه بين الفترة المتوسط أصبح أكثر دفئًا وملوحة، ولم يقتصر هذا التغير على الطبقات السطحية.

.وفي شمال غرب المتوسط، وصلت الفروق في درجة حرارة السطح بين الفترتين إلى نحو 1.42 درجة مئوية

وعلى عمق 200 متر، ظهرت فروق حرارية ملحوظة أيضًا، وكان أكبر ارتفاع في هذه الطبقة في البحر الأيوني، بنحو 0.92 درجة مئوية.
أما الملوحة، فقد أظهرت تغيرات واسعة، خصوصًا في الأجزاء الوسطى والشرقية من المتوسط، واستمرت الإشارات الإيجابية إلى أعماق كبيرة في بعض الأحواض.
وهذا مهم لأن الحرارة والملوحة ليستا مجرد رقمين منفصلين.
فهما تؤثران معًا في كثافة مياه البحر، والكثافة عنصر أساسي في حركة المياه وتكوين الكتل المائية وانتقالها بين الطبقات.

الملوحة تغيّر القصة

قد يبدو ارتفاع حرارة البحر مفهومًا بصورة مباشرة، لكن الملوحة تضيف طبقة أخرى من التعقيد.
تتأثر ملوحة البحر بالتبخر والأمطار وتبادل المياه والحركة البحرية. وعندما تتغير الملوحة بالتزامن مع الحرارة، فإن خصائص الماء الفيزيائية تتغير أيضًا.
وهنا تصبح العلاقة أكثر تعقيدًا:
الحرارة تغيّر كثافة المياه، والملوحة تغيّرها أيضًا، لكن تأثير كل منهما قد يسير في اتجاه مختلف.
في بعض المناطق، يؤدي ارتفاع الحرارة إلى جعل المياه السطحية أقل كثافة، بينما يمكن أن يؤدي ارتفاع الملوحة إلى زيادة كثافتها.
وتظهر الدراسة أن هذا التفاعل ليس ثابتًا في جميع أجزاء المتوسط، بل يختلف باختلاف المنطقة والعمق.
وفي بعض أجزاء المتوسط الشرقي، ومنها حوض المشرق، ظهرت إشارات واضحة إلى الاحترار والملوحة، مع امتداد بعض التغيرات إلى الطبقات العميقة.

عندما يصبح التغير أسرع

هنا تصل الدراسة إلى أكثر نتائجها أهمية.
لو كانت درجة حرارة البحر ترتفع بالمعدل نفسه كل عام، لكان بإمكاننا وصف التغير بخط مستقيم تقريبًا.
لكن البيانات تشير إلى شيء مختلف:
معدل التغير نفسه يتغير مع الزمن.
وجدت الدراسة أن تسارع الاحترار يمكن أن يصل محليًا إلى نحو 0.3 درجة مئوية لكل عقد مربع في بعض المناطق والطبقات، بينما يصل تسارع تغير الملوحة إلى نحو 0.1 لكل عقد مربع.
وهذه الوحدات تحتاج إلى تفسير: الرقم لا يعني أن البحر يضيف 0.3 درجة مئوية كل عقد بصورة مباشرة، بل يصف مقدار تغير معدل الاحترار نفسه عبر الزمن وفق التحليل الإحصائي المستخدم في الدراسة.
وهذا التفريق مهم حتى لا تتحول النتيجة العلمية إلى عنوان مبالغ فيه.
فالرسالة ليست أن كل أجزاء البحر المتوسط تسخن بالسرعة نفسها، وإنما أن هناك مناطق وطبقات يظهر فيها انحراف واضح عن معدل تغير ثابت، بما يشير إلى تسارع في التحول.

لماذا تصل التغيرات السطحية إلى الأعماق؟

البحر ليس مجموعة طبقات منفصلة.
تتحرك المياه بين طبقاته من خلال عمليات معقدة تشمل التهوية، والحركة الأفقية للمياه، والاختلاط، وتحول الكتل المائية وتكوين المياه الكثيف
وفي بعض مناطق المتوسط، يمكن للمياه التي تتغير خصائصها قرب السطح أن تصبح أكثر كثافة في ظروف معينة، ثم تهبط إلى أعماق أكبر.
وهذه العملية تساعد على نقل الحرارة والملوحة والخصائص الفيزيائية من الطبقات العليا إلى الداخل.
ولهذا وجد الباحثون أن الإشارات المرصودة ليست محصورة بالطبقة التي تتأثر مباشرة بالغلاف الجوي، بل تظهر بصورة مترابطة عبر أجزاء كبيرة من عمود المياه.
وتشير الدراسة إلى أن الطبقات المتوسطة، خصوصًا بين نحو 75 و300 متر، يمكن أن تعمل كمنطقة انتقال تربط التأثيرات السطحية بالمياه الداخلية.

المتوسط كاشف مبكر لتغير المحيطات

للبحر المتوسط خصائص تجعله مهمًا بصورة خاصة في دراسة تغير المحيطات.
فهو بحر شبه مغلق نسبيًا، شديد التأثر بالغلاف الجوي، ويتميز بدورة مائية معقدة وسجل طويل من القياسات البحرية.
وهذا يجعله أشبه بـ مختبر طبيعي يستطيع العلماء من خلاله دراسة كيف تتغير خصائص المياه عندما تتعرض لفترة طويلة لضغوط مناخية متزايدة.
وتشير الدراسة إلى أن المتوسط قد يوفر إشارة مبكرة تساعد العلماء على فهم سرعة تغير خصائص أحواض بحرية أخرى تحت تأثير التغير المناخي المستمر.
لكن هذا لا يعني أن المتوسط يمثل نسخة مصغرة من جميع محيطات العالم؛ فخصائصه الجغرافية والدورانية مميزة. قيمته العلمية تكمن في أنه يوفر نظامًا يمكن رصد تغيراته بتفصيل نسبي وعلى مدى زمني طويل.

لماذا يهمنا ما يحدث تحت سطح البحر؟

قد تبدو التغيرات على عمق مئات أو آلاف الأمتار بعيدة عن الحياة اليومية.
لكن المحيطات والبحار أنظمة مترابطة.
تغير درجة الحرارة والملوحة والكثافة يمكن أن يؤثر في حركة المياه وتكوين الكتل المائية وتوزيع الحرارة والمواد داخل البحر.
كما أن تغير الظروف الفيزيائية للمياه يحدث داخل نظام بيئي تعتمد عليه كائنات بحرية كثيرة، وتتشابك معه عمليات مناخية وبيئية واقتصادية واسعة.
لهذا فإن أهمية الدراسة لا تكمن في أن «المياه العميقة أصبحت أكثر دفئًا» فقط.
.الأهمية الحقيقية هي أن خصائص النظام البحري نفسه تتغير
وعندما يتغير نظام معقد بمرور الزمن، فإن السؤال لا يعود فقط: كم ارتفعت درجة الحرارة؟
بل يصبح:
كيف يعيد هذا التغير ترتيب حركة المياه والعلاقات التي تعتمد عليها المنظومة البحرية؟

ماذا يعني ذلك للبحر المتوسط في منطقتنا؟

يكتسب الأمر أهمية خاصة بالنسبة لشرق المتوسط.
فحوض المشرق كان أحد الأحواض التي شملها التحليل العميق في الدراسة، وأظهرت البيانات فيه تغيرات في الحرارة والملوحة امتدت عبر جزء كبير من عمود المياه.
وهذا يضع المنطقة ضمن قصة علمية أكبر من مجرد ارتفاع حرارة سطح البحر.
فالمتوسط الشرقي يقع عند تقاطع تغيرات مناخية ومائية وبحرية متعددة، ولذلك فإن مراقبة البحر لا ينبغي أن تقتصر على درجات حرارة السطح أو التغيرات الساحلية الظاهرة.
هناك حاجة أيضًا إلى استمرار القياسات في الأعماق، ومتابعة الحرارة والملوحة والكثافة وحركة الكتل المائية على مدى طويل.
.فما يحدث في العمق قد لا يظهر سريعًا للعين، لكنه يمكن أن يكشف لنا اتجاهًا في النظام البحري قبل أن تظهر جميع نتائجه على السطح

تغير المحيطات قد يبدو موضوعًا بعيدًا عن العمل الشبابي، لكنه يفتح مجالًا واسعًا للبحث والابتكار.
يمكن للطلاب والباحثين الشباب استخدام البيانات البحرية المفتوحة لدراسة تغير درجات حرارة سطح البحر، أو مقارنة السنوات والمواسم، أو ربط التغيرات البحرية بموجات الحر والجفاف والأحداث المناخية الأخرى.
ويمكن للمهتمين بالتكنولوجيا تطوير أدوات بسيطة لعرض البيانات البحرية وتحويل الأرقام المعقدة إلى خرائط ورسوم تساعد المجتمعات على فهم ما يحدث في البحر.
أما في مجال ريادة الأعمال البيئية، فتظهر فرص مرتبطة بالمراقبة البيئية، والاستشعار عن بعد، وتحليل البيانات، والسياحة البحرية المستدامة، وحماية النظم الساحلية.
.لكن الأهم هو تطوير ثقافة علمية ترى البحر كنظام حي ومتحرك، وليس مجرد مساحة مائية على الخريطة
فكلما ازدادت قدرتنا على قراءة ما يحدث تحت السطح، أصبح من الممكن فهم التغيرات التي قد تبدو في البداية بعيدة أو غير مرئية.

الخلاصة

تغير المناخ لا يقف عند الحد الذي تستطيع أعيننا رؤيته.
في البحر المتوسط، تكشف سجلات تمتد من عام 1950 إلى 2025 عن تغير واسع في درجة الحرارة والملوحة، مع إشارات تمتد من السطح إلى المياه المتوسطة والعميقة.
والأهم أن هذا التغير لا يبدو ثابت السرعة؛ فقد وجدت الدراسة أدلة على تسارع الاحترار والملوحة في مناطق وطبقات متعددة، مع استمرار بعض الاتجاهات حتى أعماق كبيرة.
وهذا يعيد تعريف الطريقة التي ينبغي أن ننظر بها إلى البحر.
فما نراه على السطح ليس القصة كاملة.
تحت سطح المتوسط، تتحرك الحرارة والملوحة والكثافة عبر شبكة معقدة من المياه والطبقات، حاملة معها آثار عالم يتغير مناخيًا.
وربما تكمن إحدى أهم رسائل هذه الدراسة في حقيقة بسيطة لكنها عميقة:
حين يتغير سطح البحر، قد يبدأ العمق في كتابة بقية القصة.

المصدر

«دليل رصدي على تسارع الاحترار وازدياد الملوحة وانتقالهما إلى أعماق البحر المتوسط» — بحث أصلي

https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2026GL124518