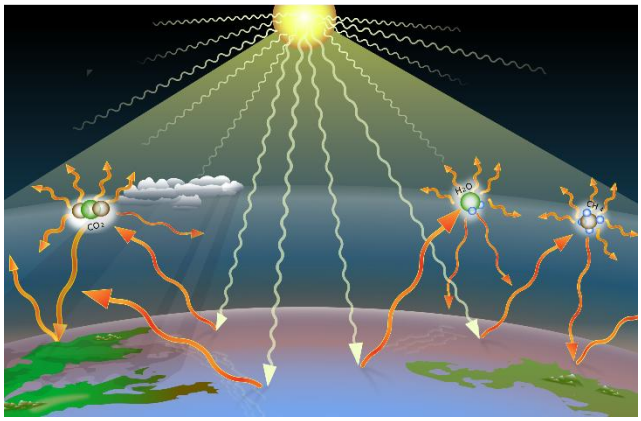
التغير المناخي

مفهوم التغير المناخي:

حسب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المُناخ (UNFCCC) فان التغير المناخي هو "التغير في المناخ الذي يُنسب إلى **الأنشطة البشرية** التي تزيد من تركيز **غازات الدفيئة** في الغلاف الجوي، والتي تؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة على سطح الأرض، وما يتسببه من ارتفاع منسوب سطح البحر، والتغيرات في الأحوال الجوية والظواهر المناخية، والتغيرات في أنماط الحرارة والأمطار وزيادة في الكوارث الطبيعية المتصلة بالطقس. "

United Nations Framework Convention on Climate Change

غازات الدفيئة Greenhouse Gases (غازات الاحتباس الحراري):



غازات الدفيئة ويشارُ إليها برمز (GHG): هي غازات موجودة في الغلاف الجوي للأرض وتتميز بقدرتها على امتصاص الأشعة تحت الحمراء الحرارية التي تطلقها الأرضُ وإعادة إشعاعها مرة أخرى داخل الغلاف الجوي مما يؤدي لرفع درجة حرارة الهواء، وبذلك فإنها تحبس جزء من الحرارة الصادرة من الأرض داخل الغلاف الجوي وتمنعها من الضياع في الفضاء مما يجعلها تساهم في تسخين جوِّ الأرض، في ظاهرة تسمى الاحتباس الحراري أو تأثير البيوت الزجاجية، وأهم هذه الغازات هي (بخار الماء، ثاني أوكسيد الكربون، الميثان، أوكسيد النتروز، كلوروفلوروكربون، والأوزون).

الغازات المسببة للاحتباس الحراري تجعل الأرض صالحة للعيش فبدون هذه الغازات سيكون متوسط درجة حرارة سطح الأرض حوالي (18-) درجة مئوية بدلاً من المتوسط الحالي البالغ (15) درجة مئوية.

ولكن بعد أكثر من قرن ونصف من التصنيع، وإزالة الغابات، ارتفعت كميات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي إلى مستويات قياسية لم تشهدها منذ ثلاثة ملايين عام مما أدى إلى احتباس كميات إضافية من الحرارة الصادرة من الأرض داخل الغلاف الجوي وزيادة درجة حرارة الأرض بالتالي حدوث ما يعرف بظاهرة الاحترار العالمي (Global Waring).

الثلاثة الكبار هي أهم غازات الاحتباس الحراري:

يعد كل من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ويتم قياس تركيزه في الغلاف الجوي بأجزاء في المليون (ppb) والميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) ويتم قياسهما بأجزاء في المليار (ppb) من أهم غازات الاحتباس الحراري وتسمى الثلاثة الكبار ولذلك لنسب مساهمتهم الكبيرة في ظاهرة الاحتباس الحراري أذ يساهم غاز ثاني أكسيد الكربون (66%) في ظاهرة الاحتباس الحراري، في حين يساهم غاز الميثان بنسبة (16%) في ظاهرة الاحتباس الحراري، بينما يساهم غاز أكسيد النيتروز بنسبة (7%).

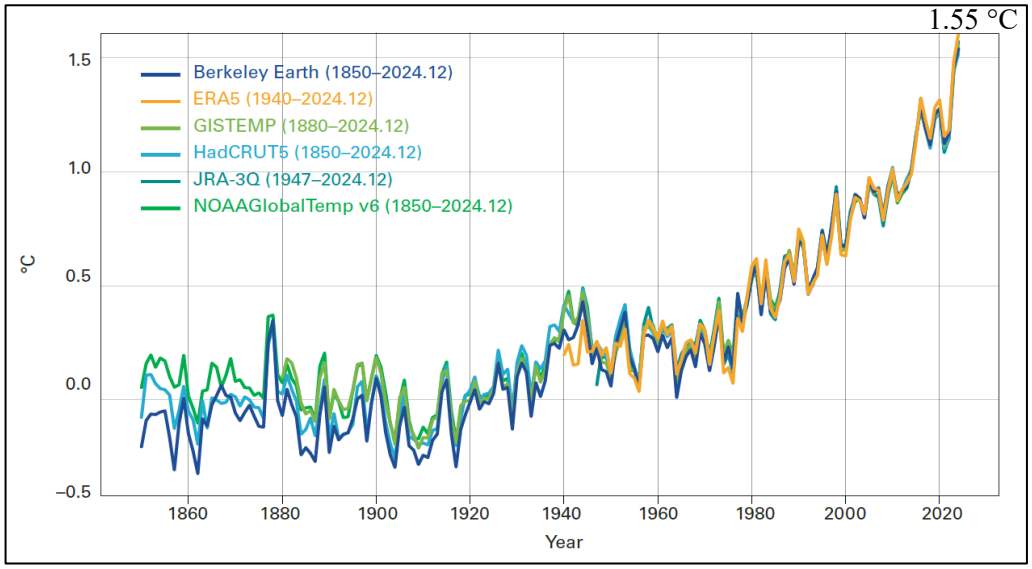
تعد زيادة مستويات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بسبب **الأنشطة البشرية محركًا رئيسيًا لتغير المناخ.**

مؤشرات التغير المُناخي:

1. ارتفاع متوسط درجة الحرارة العالمية Global mean near-surface Temperature:

ارتفع متوسط درجة الحرارة السطحية للأرض عالميًا في عام 2024 إلى 14.9 درجة مئوية بعد ان كان 13.35 قبل الثورة الصناعية (1850–1900)، أي بلغ متوسط درجة الاحترار العالمي 1.55 درجة مئوية مقارنة بالحقبة التي سبقت الثورة الصناعية. وبذلك يعد عام 2024 الأكثر حرارة على الإطلاق منذ بدء السجلات قبل 175 عامًا.

شكل (1) شذوذ متوسط درجات الحرارة العالمية السنوية من عام 1850 إلى عام 2024 مقارنةً بخط الأساس ما قبل الثورة الصناعية (1850–1900)



Source: World Meteorological Organization (WHO). (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/69455

2. ارتفاع المحتوى الحراري للمحيطات (Ocean Heat Content):

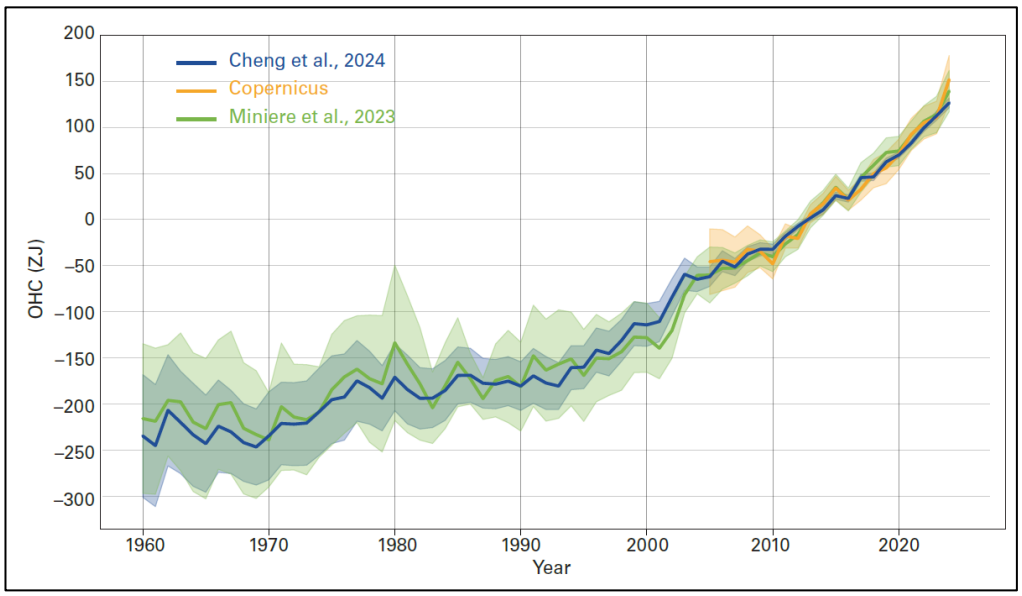
المحتوى الحراري للمحيطات: هو مقدار الطاقة الحرارية المُختزنة داخل كتلة مياه المحيطات (عادة حتى عمق 2000م)، ويُقاس عادةً بجول (J) أو زيتاجول (ZJ). وكل 1 زيتاجول (ZJ) يساوي 0.088 وات/م^2 (W/m^2). عندما تمتص الأرض طاقة زائدة من الشمس نتيجة زيادة غازات الدفيئة، فإن حوالي 90% من تلك الطاقة يتم امتصاصها من قبل المحيطات، مما يؤدي إلى تسخين مياه المحيطات، لذا يُعدّ مؤشر محتوى حرارة المحيط مؤشرًا رئيسيًا على تغير المناخ.

زاد محتوى الحرارة في المحيط العالمي بمعدل 6.8 زيتاجول سنوياً (0.6 واط/م² سنوياً) من عام 1971 إلى عام 2024.

على مدار السنوات الثماني الماضية، سجل كل عام رقمًا قياسيًا جديدًا لمحتوى حرارة المحيطات. وبلغ المحتوى الحراري للمحيطات في عام 2024 أعلى مستوى مسجّل له منذ بدء المراقبة قبل 65 عامًا، بزيادة قدرها 16 زيتاجول (ZJ) عما كان عليه في عام 2023.

بلغ معدل احترار المحيطات في العقدين الاخيرين (2005–2024) حوالي (11.65 زيتاجول سنوياً) وهو ما يزيد عن ضعف المعدل المرصود خلال الفترة (1960–2005) والذي كان يبلغ (3.5 زيتاجول سنويًا).

شكل (2) المحتوى الحراري العالمي السنوي للمحيطات حتى عمق 2000 م للفترة (1960–2024) بوحدة الزيتا جول (١٠٢١ جول). تشير المنطقة المظللة إلى نطاق عدم اليقين



Source: World Meteorological Organization (WHO). (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/69455

اضرار ارتفاع المحتوى الحراري للمحيطات (OHC):

لارتفاع درجة حرارة المحيطات عواقب وخيمة مثل:

1- تدهور النظم البيئية البحرية، وفقدان التنوع البيولوجي، مثل ابيضاض المرجان، فالشعاب المرجانية حساسة للغاية للتغيرات في درجات الحرارة. تعتبر صحتهم حيوية لأنها تخلق أنظمة بيئية كاملة، وتكون بمثابة مصدر للغذاء للملايين من الاحياء البحرية، وتحمي السواحل من العواصف والتآكل، ويمكن أن تكون مناطق جذب سياحية رئيسية.

2- انخفاض مستوى امتصاص الكربون في المحيطات.

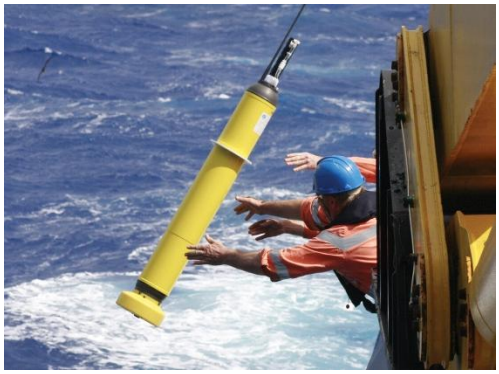
3- كما يُغذي ارتفاع درجة حرارة المحيطات العواصف الاستوائية وشبه الاستوائية.

4- يُفاقم فقدان الجليد البحري المستمر في المناطق القطبية.

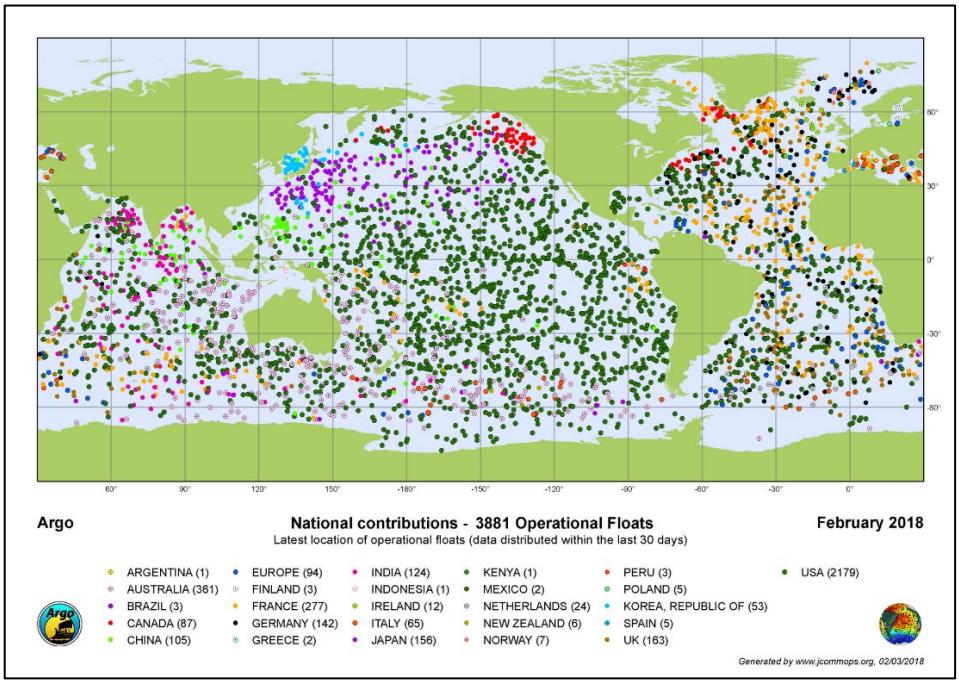
5- ارتفاع مستوى سطح البحر: فمع ارتفاع درجة حرارة الماء، فإنه يتمدد، ولذلك فإن ارتفاع درجات حرارة المحيطات يعد مساهمًا رئيسيًا في ارتفاع مستويات سطح البحر حول العالم.

يشير ارتفاع درجة حرارة المحيطات المرصودة إلى أن الأرض تعاني حاليًا من اختلال في توازن الطاقة. يكشف معدل احترار المحيطات عن مدى سرعة نظام الأرض في احتجاز الطاقة الفائضة على شكل حرارة. حوالي 5% من هذه الطاقة الفائضة تُسخّن اليابسة، و1% تُسخّن الغلاف الجوي، و4% تُسخّن وتُذيب الغلاف الجليدي. ومع ذلك، فإن الغالبية، حوالي 90%، تذهب إلى تسخين المحيط. لذا، يُعدّ مؤشر محتوى حرارة المحيط مؤشرًا رئيسيًا على تغير المناخ.

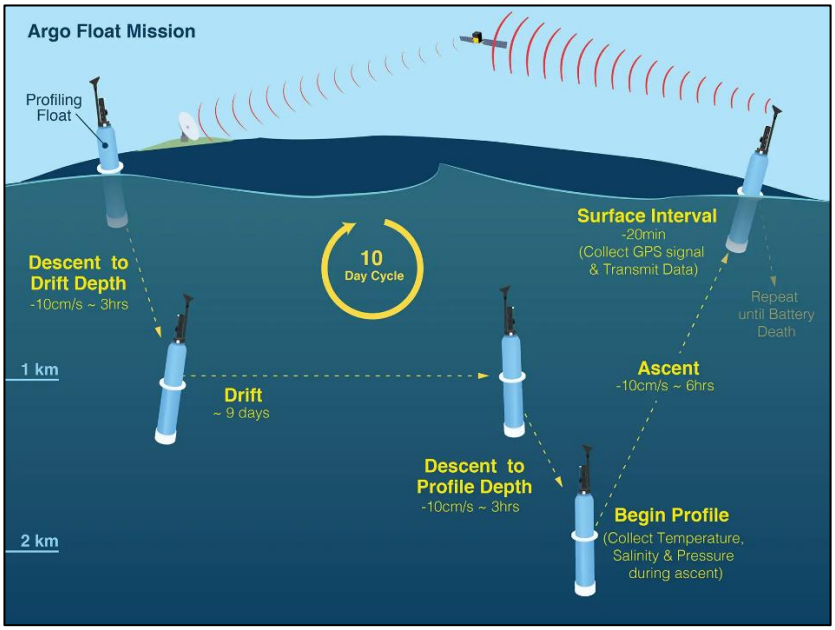
يوفر تكامل درجات حرارة المحيطات من السطح إلى أعماق المحيط (عادةً حتى عمق 2000 متر) مقياسًا لمحتوى حرارة المحيطات. وقد تم قياس درجات حرارة المحيطات بواسطة سفن الأبحاث لأكثر من قرن، ولكن عمليات الرصد كانت نادرة جدًا بحيث لا تُشكّل متوسطًا عالميًا قبل عام 1960. أُجريت قياسات إضافية باستخدام أجهزة تُطلق من السفن منذ سبعينيات القرن الماضي. ومنذ عام 2005 تقريبًا تم توفير تغطية شبه عالمية حتى عمق 2000 متر بواسطة عوامات Argo ذاتية التشغيل. تُظهر السلسلة الزمنية لمحتوى حرارة المحيطات على نطاق عالمي أن المحيطات العالمية تشهد ارتفاعًا واضحًا في درجة حرارتها. وتُعد التغيرات في درجة حرارة المحيطات العالمية غير قابلة للعلاج على نطاقات زمنية تتراوح بين مئة وألف عام، وتُشير توقعات المناخ إلى أن ارتفاع درجة حرارة المحيطات سيستمر خلال الفترة المتبقية من القرن الحادي والعشرين وما بعده.



شكل (3) توزيع العوامات النشطة في مصفوفةArgo، مشفرة بالألوان حسب البلد الذي يمتلك العوامة، اعتبارا من فبراير 2018.



شكل (4) الية عمل عوامات Argo



شرح دورة عمل عوامة أرغو (Argo Float):

1. الهبوط إلى عمق الانجراف:(Descent to Drift Depth)

تبدأ العوامة بالهبوط من سطح البحر إلى عمق حوالي 1000 متر (يتم ذلك بسرعة 10 سم/ثانية ويستغرق حوالي 3 ساعات) .

2. الانجراف (Drift):

تبقى العوامة على هذا العمق (1000م) لمدة حوالي 9 أيام وتنجرف مع التيارات المحيطية، مما يسمح بدراسة حركة المياه الداخلية.

3. الهبوط إلى عمق القياس (Descent to Profile Depth):

بعد الانجراف، تهبط العوامة إلى عمق أكبر (2000 متر). يتم ذلك بسرعة 10 سم/ثانية ويستغرق حوالي 3 ساعات.

4. بدء القياس أثناء الصعود (Begin Profile):

أثناء صعود العوامة من العمق نحو السطح، تبدأ بجمع بيانات: درجة الحرارة، الملوحة، الضغط.

5 .الصعود إلى السطح:(Ascent)

يتم الصعود بسرعة 10 سم/ثانية لكن المسافة أطول (2000م)، لذلك تستغرق العملية حوالي 6 ساعات.

6 .الفاصل السطحي (Surface Interval):

عند الوصول إلى السطح، تبقى العوامة حوالي 20 دقيقة. تقوم خلال هذه الفترة بـ: استقبال إشارة GPS لتحديد الموقع، ونقل البيانات إلى الأقمار الصناعية.

7. تبدأ الدورة من جديد:

تتكرر هذه الدورة كل 10 أيام، وتستمر حتى نفاد البطارية (والتي تدوم عادة 4 سنوات).

3. ارتفاع مستوى سطح البحر (Global mean sea level):

يُقاس متوسط مستوى سطح البحر العالمي بالأقمار الصناعية باستخدام مقاييس الارتفاع الرادارية التي تسجل الوقت الذي تستغرقه إشارة الرادار للوصول إلى سطح البحر والعودة إلى القمر الصناعي. وتوجد سجلات أطول لمتوسط مستوى سطح البحر العالمي تستند إلى قياسات مقاييس المد والجزر التي أُجريت على طول السواحل حول العالم منذ أواخر القرن التاسع عشر.

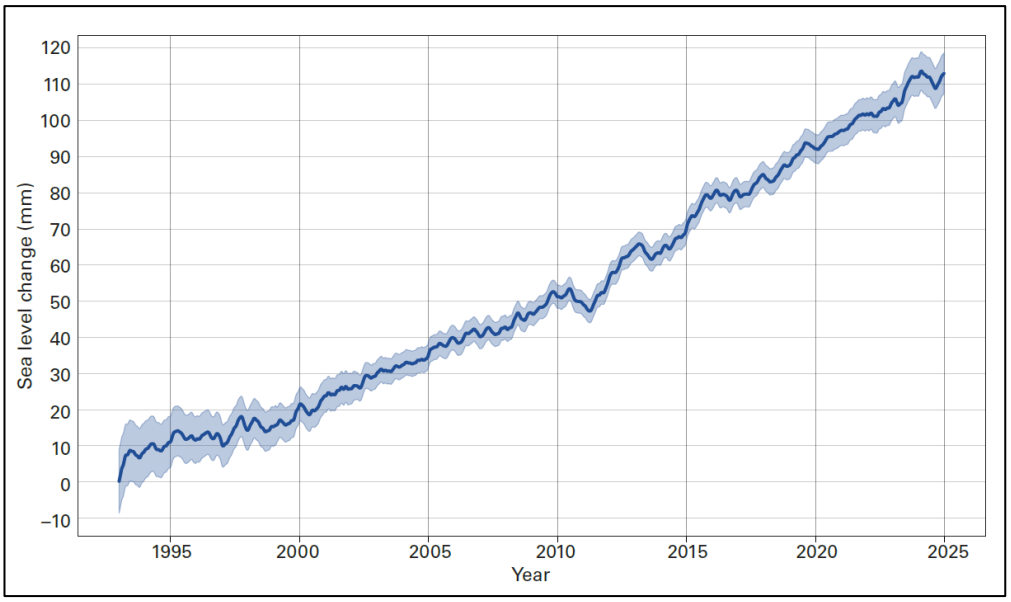
يؤدي ارتفاع درجة حرارة المحيط إلى تمدد المياه وارتفاع متوسط مستوى سطح البحر العالمي، كما يُسهم ذوبان الجليد على اليابسة في ارتفاع مستوى سطح البحر ايضاً. ولأن ارتفاع درجة حرارة المحيطات سيستمر لقرون حتى مع توقف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، سيستمر مستوى سطح البحر في الارتفاع على نفس النطاق الزمني.

في عام 2024، بلغ متوسط مستوى سطح البحر العالمي أعلى مستوى له (113ملم ما يعادل 11.3 سم) منذ عام 1993.

كان معدل ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر العالمي خلال السنوات العشر الماضية (2015–2024) حوالي (4.7 ملم/سنة) وهو أكثر من ضعف معدل ارتفاع مستوى سطح البحر في العقد الأول

من سجلات الأقمار الصناعية (1993–2002) والبالغ (2.1 ملم/سنة). أي ان مستوى سطح البحر من` تسجيل ارتفاعه في عام 1993 وحتى عام 2024 يزداد بمقدار 3.65 ملم سنوياً.

شكل (5) التغير السنوي في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر للمدة (1993–2024)



Source: World Meteorological Organization (WHO). (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/69455

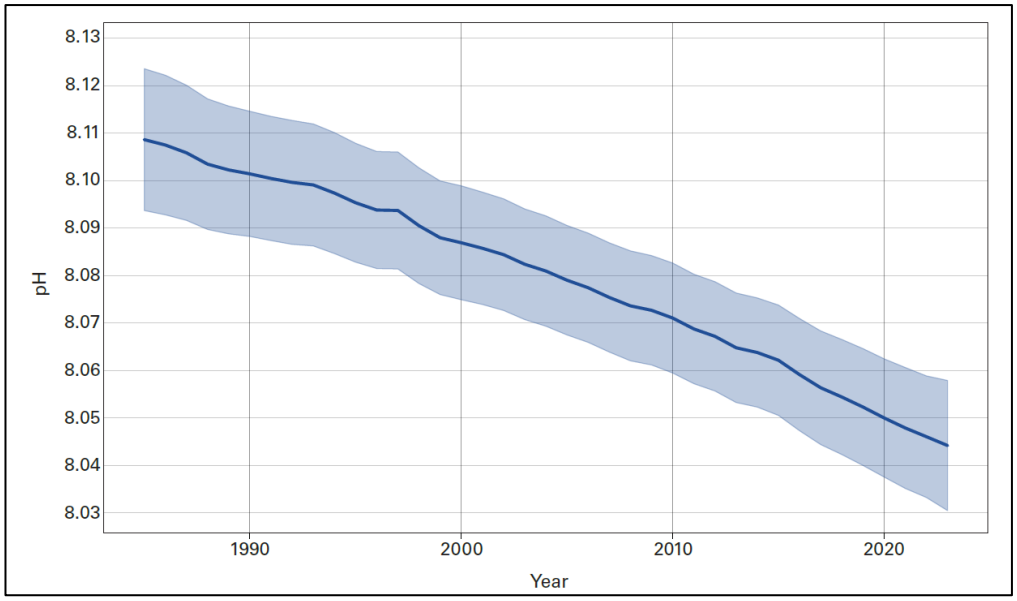
وسيرتفع منسوب سطح البحر بنهاية القرن الحالي ما بين 0.33 – 1.8 متر. سيؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر إلى آثار متتالية ومركبة وواسعة النطاق على المناطق والمجتمعات الساحلية، مما يؤدي إلى خسائر في النظم البيئية الساحلية وخدماتها، وتملح المياه الجوفية، والفيضانات، وإلحاق الضرر بالبنية التحتية الساحلية.

4. تحمّض المحيطات (Ocean Acidification):

تمتص المحيطات حوالي 25% من الانبعاثات السنوية لثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الأنشطة البشرية، مما يساعد على التخفيف من آثار تغير المناخ ولكن بتكلفة بيئية عالية للمحيطات، إذ أدّت هذه العملية إلى تحوّل في التركيب الكيميائي للكربونات في المحيط، مما أدّى إلى انخفاض في (pH) المحيطات فتزيد حموضته، وهو ما يعرض الكائنات الحية والنظام البيئي المائي للخطر، بما في ذلك الأمن الغذائي، من خلال تعريض مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية للخطر. كما أنه يؤثر على حماية السواحل من خلال إضعاف الشعاب المرجانية، التي تحمي الخط الساحلي، وتشجع السياحة.

واستمر تحمض سطح المحيطات على مدار السنوات التسع والثلاثين الماضية (منذ 1985)، إذ يتضح ذلك من خلال الانخفاض المستمر في متوسط الاس الهيدروجيني (pH) لسطح المحيطات العالمي الذي انخفض بمعدل 0.017 وحدة pH لكل عقد (منذ 1985). ولأن الرقم الهيدروجيني للمحيط اكثر من 7، لذا تبقى مياهه قلوية قليلاً، ولكن يُشار إلى الانخفاض الملحوظ في الرقم الهيدروجيني باسم تحمُّض المحيط. و وقد انخفض معدل pH المحيط العالمي من 8.11 في عام 1985 إلى 8.04 في عام 2023.

شكل (6) متوسط الرقم الهيدروجيني السنوي العالمي لسطح المحيطات للمدة (1985–2023)



Source: World Meteorological Organization (WHO). (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/69455

ملاحظة: الأسُّ الهَيْدرُوجيني أو الرقم الهيدروجيني: هو رقم يستخدمه الكيميائيون لبيان تركز أيونات الهيدروجين في محلول ما. ويتراوح الأس الهيدروجيني عامة من صفر إلى 14. الأس الهيدروجيني الذي تحت (7) يدل على أن المحلول حمضي والأس الهيدروجيني الذي فوق (7) يدل على أن المحلول قاعدي (قلويّ).

5. تراجع توازن كتلة الثلاجات النهرية (الأنهار الجليدية) (Glacier Mass Balance):

الانهار الجليدية تتشكل من الثلوج المتساقطة على أعالي الجبال والتي تنضغط لتشكل جليداً قد ينزلق بعد ذلك ويتدفق إلى الأسفل نحو ارتفاعات أقل وأدفأ، حيث يذوب.

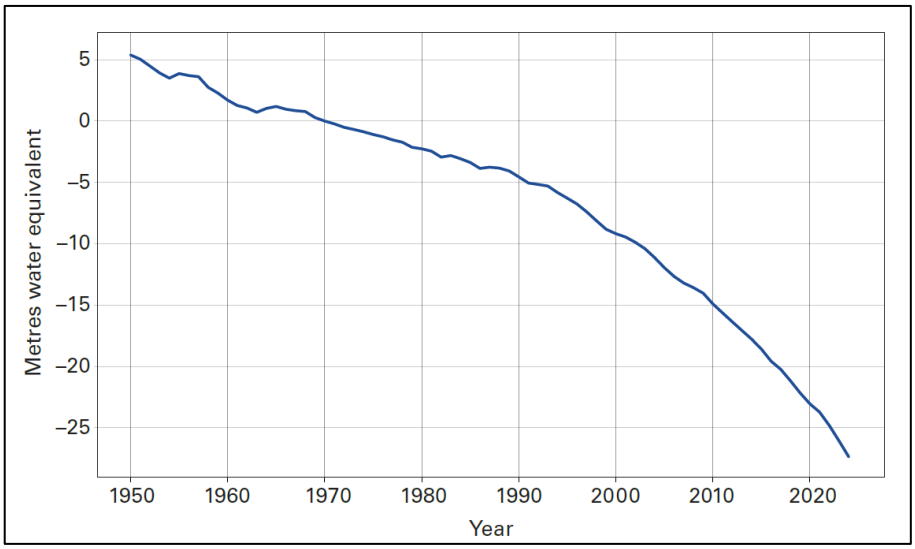
تتكون الأنهار الجليدية من منطقتين: منطقة تراكم حيث ان ازدياد الكتلة بفعل تساقط الثلوج يكون اكبر من فقدان الجليد، ومنطقة انحلال (فقدان) حيث ان فقدان الجليد (الانحلال) الناتج عن الذوبان وآليات أخريكون اكبر من التراكم.

يُعرف توازن كتلة النهر الجليدي بمقدار الكتلة التي يكتسبها أو يفقدها النهر الجليدي ويُعبر عنه بالأمتار المكافئة من الماء. والمتر المكافئ من الماء يساوي تقريبًا طنًا واحدًا لكل متر مربع.

يساهم فقدان الجليد من الأنهار الجليدية بنحو 21% من إجمالي ارتفاع مستوى سطح البحر، أي ما يقرب من نصف مساهمة تمدد المياه بسبب ارتفاع درجة حرارة المحيطات (42%)، ولكنه أكبر من مساهمات ذوبان الصفائح الجليدية في جرينلاند (15%) والقارة القطبية الجنوبية (8%).

سجلت السنوات الهيدرولوجية الثلاث (2021/2022–2023/2024) أعلى خسارة متتالية في الكتلة الجليدية منذ 1950 والتي بلغت حوالي (1.1−) متر مكافئ مائي. (1 مكافئ مائي = 1000 كغم/م^2). كما ان أكثر من 98% من الأنهار الجليدية المراقبة سجلت توازنًا سلبيًا في الكتلة. وبلغ مجموع الفقدان من الكتلة الجليدية حوالي −28 متر مكافئ مائي.

شكل (7) معدل التغير السنوي العالمي لكتلة الأنهار الجليدية (1950–2024)



Source: World Meteorological Organization (WHO). (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/69455

6. تقلص الغطاء الجليدي البحري والامتداد الجليدي البحري (Sea-ice cover and Sea-ice extent):

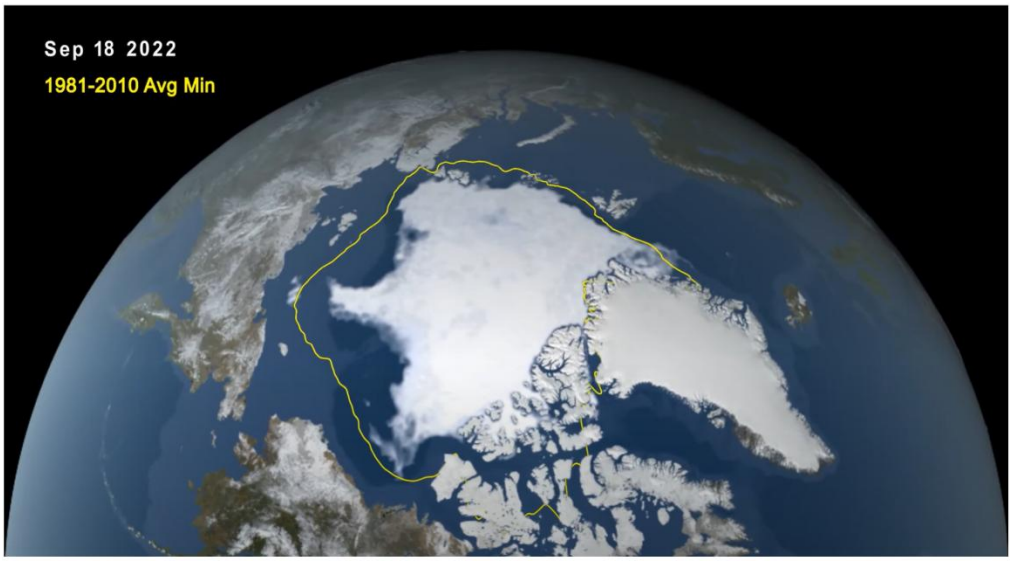
الجليد البحري هو مياه بحر متجمدة تطفو على سطح المحيط. يتمدد غطاء الجليد البحري في المناطق القطبية للأرض كل خريف وشتاء، حيث تتجمد مياه المحيط استجابةً لبرودة الغلاف الجوي والمحيط. يؤدي ارتفاع درجات الحرارة في الصيف إلى ذوبان جزء كبير من هذا الجليد الموسمي، وعادةً ما يُسجل الحد الأدنى السنوي لمستوى الجليد البحري في كل نصف من نصفي الكرة الأرضية في أواخر الصيف أو أوائل الخريف (سبتمبر في نصف الكرة الشمالي، وفبراير في نصف الكرة الجنوبي). يمكن أن تؤثر التغيرات في غطاء الجليد البحري على حركة المحيطات، وديناميكيات الغلاف الجوي، وتسخين السطح.

يُعرَّف امتداد الجليد البحري (Sea-ice extent) بأنه مساحة المحيط التي يغطيها الجليد بنسبة 15% على الأقل. وهذه كمية ديناميكية تتغير استجابةً للنمو الديناميكي الحراري (التجمد) والانحلال (الذوبان)، وكذلك عندما يتحرك الغطاء الجليدي مع الرياح والتيارات المحيطية. يُرسم امتداد الجليد البحري وغطاؤه باستخدام صور الأقمار الصناعية بالموجات المايكروية (microwave). أي أن المنطقة تُعتبر ضمن الامتداد الجليدي إذا كان 15% أو أكثر من سطحها مغطى بالجليد، أما المناطق التي تقل فيها نسبة التغطية عن 15% فلا تُحتسب ضمن الامتداد. مثال توضيحي لنفترض اخذ صورة قمر صناعي لاحد المحيطات ولنفترض وجود 1000 خلية في هذه الصورة مساحة كل منها تمثل مساحة 25×25 كم على سطح المحيط أي ان الخلية الواحدة تمثل مساحة 625 كم² على سطح المحيط، إذا 600 من هذه الخلايا تحتوي على أقل من 15% جليد، فإن: الامتداد الجليدي = 600 × 625 = 375,000 كم²

ويُعرف الغطاء الجليدي البحري (**Sea-ice cover**) بأنه النسبة المئوية من مساحة سطح البحر أو المحيط التي تغطيها طبقة من الجليد البحري (sea ice)، ويتم حسابه ضمن كل وحدة مساحة (عادةً شبكة من الخلايا) باستخدام بيانات الأقمار الصناعية. مثلًا: إذا كانت خلية شبكية مساحتها 25 كم × 25 كم تحتوي على 75% جليد و25% ماء مفتوح، فإن الغطاء الجليدي البحري = 75%.

بلغ الفقدان الجليدي السنوي في المحيط المنجمد الشمالي للفترة (1979–2024) حوالي 77,000 كيلومتر مربع سنويًا.

شكل (8) يوضح تقلص مساحة الغطاء الجلدي في القطب الشمالي مقارنة بمعدل مساحته للمدة (1981–2010) باللون الاصفر



7. تغير أنماط درجات الحرارة والهطول المطري (Patterns of Temperature and Precipitation)

يشمل التغير المناخي تأثيرات واسعة النطاق على النظام المناخي للأرض، ومن أبرز هذه التأثيرات:

- **تغيّر أنماط درجات الحرارة:**

يشهد العالم ارتفاعًا عامًا في متوسط درجات الحرارة العالمية، وخاصة في العقود الأخيرة. كما تتزايد حدة الظواهر الحرارية المتطرفة، مثل موجات الحر وموجات البرد الشديدة، مما يؤثر سلبًا على صحة الإنسان، والإنتاج الزراعي، والنظم البيئية.

- **تغيّر أنماط الهطول المطري:**

يؤدي التغير المناخي إلى إعادة توزيع الأمطار عبر المناطق الجغرافية: فبعض المناطق تشهد زيادة في الهطول (أحيانًا على شكل فيضانات)، بينما تعاني مناطق أخرى من تناقص مطري وجفاف متفاقم. كما تتغير الفصول المطرية، فتصبح أكثر تقلبًا، وتحدث تغيرات في توقيت بدء المواسم المطرية وانتهائها.

في عام 2024 كانت معظم مناطق اليابسة أكثر دفئًا من المعدل طويل الأمد (1991–2020)، مع وجود مناطق محدودة من درجات الحرارة دون المتوسط حول أيسلندا، وأجزاء من أنتاركتيكا، والطرف الجنوبي لأمريكا الجنوبية (الشكل 9). ولوحظت درجات حرارة سنوية قياسية أو شبه قياسية في مناطق واسعة من المناطق الاستوائية، من أمريكا الجنوبية والوسطى شرقًا إلى غرب المحيط الهادئ. كما شهدت

مناطق برية أخرى خارج المناطق الاستوائية درجات حرارة سنوية مرتفعة بشكل استثنائي، بما في ذلك شرق أمريكا الشمالية، وشمال إفريقيا، وأوروبا، وجنوب وشرق آسيا وغرب اسيا (من ضمنها العراق اذ سجلت زيادة تراوحت بين 1–2 درجة مئوية عن المعدل طويل الأمد). ووصلت درجات حرارة سطح البحر إلى مستويات قياسية في المناطق الاستوائية وشمال المحيط الأطلسي، والمحيط الهندي الاستوائي، وأجزاء من غرب المحيط الهادئ، وأجزاء من المحيط الجنوبي. كما رُصدت مياه أبرد من المتوسط على طول الساحل الغربي لأمريكا الجنوبية، مع ظهور درجات حرارة أعلى من المتوسط بشكل أوضح غربًا على طول خط الاستواء.