ساخن ومتحمّض وناقص الأكسجين - محيطٌ مُجهَد

كيف هي حال أكبر النظم الإيكولوجية على الأرض؟

يحتوي على 96% من المساحة المعيشية على الأرض ● يضم 80% من الكائنات الحية على الأرض ● يغطي 71% من الأرض ● تُنتج النباتات البحرية ما يقارب نصف الأكسجين الذي نتنفسه ● تُوفّر الأسماك ما لا يقل عن 15% من البروتين الحيواني لـ4,2 مليار شخص ● تنتقل 90% من التجارة العالمية عبر المحيطات ● يحتوي على ما يقدّر بـ80% من موارد الأرض المعدنية

المحيطات والمناطق الساحلية تحت الإجهاد

يغطي المحيط نحو ثلاثة أرباع سطح الأرض، ويحتوي على 96% من المساحة المعيشية، ويوفر ما يقارب نصف الأكسجين الذي نتنفسه، ويُعدّ مصدراً متزايداً من البروتين للتعداد السّكاني العالمي المتنامي سريعاً. ولكن النشاط البشري يخلّف أثراً على هذا المورد الثمين على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

في العقود والقرون المقبلة، سوف تتعرض صحة المحيطات لإجهاد متزايد بفعل ثلاثة عوامل متفاعلة على الأقل. فسوف يتسبب ارتفاع درجة حرارة مياه البحر وتحمّض المحيطات ونقص الأكسجين في مياه المحيط في تغييرات جوهرية في الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية البحرية. وسوف تؤثر هذه التغييرات على المحيط بطرق قد بدأنا بفهمها للتوّ.

ومن الواجب على صناع القرار الدولي فهم الدور الهائل الذي يلعبه المحيط في الحفاظ على الحياة على الأرض، والعواقب الناتجة عن التركيز العالي في ثاني أكسيد الكربون على المحيط والمجتمع.

1

تحمّض المحيطات

ينتج تحمّض المحيطات مباشرةً عن الارتفاع في مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) داخل الغلاف الجوّي. وعندما يدخل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى المحيط فإنه يمرّ سريعاً بسلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تعمل على زيادة حموضة مياه البحر السطحية (مخفّضاً العامل الهيدروجيني). وقد أزال المحيط بالفعل حوالي 30% من غاز ثاني أكسيد الكربون البشري على مدى القرنين ونصف الماضيين، وانخفض بذلك العامل الهيدروجيني إلى معدّل لم يسبق له مثيل منذ نحو 60 مليون سنة.

ويمكن اعتبار هذا التأثير مفيداً لأنه قد أبطأ تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ومعدّل ارتفاع الاحتباس الحراري، ومن دون هذا المصرف البحري لكانت مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون أعلى من 450 جزءاً في المليون. ومع ذلك، فعلى الأرجح أن يشكل استمرار مثل هذا التغيير الأساسي والسريع في الخواص الكيميائية للمحيطات أثراً سيئاً على الحياة البحرية، حيث إنها لن تتسبب فقط في مشاكل لكثير من الكائنات ذات الهياكل العظمية المكوّنة من كربونات الكالسيوم أو الأصداف (مثل المحّار وبلح البحر والشعاب المرجانية وبعض أنواع العوالق)، بل وقد تؤثر أيضاً على كائنات حية أخرى كثيرة، وأنظمة إيكولوجية وعمليات تترتب عليها آثار خطيرة على للمجتمع.

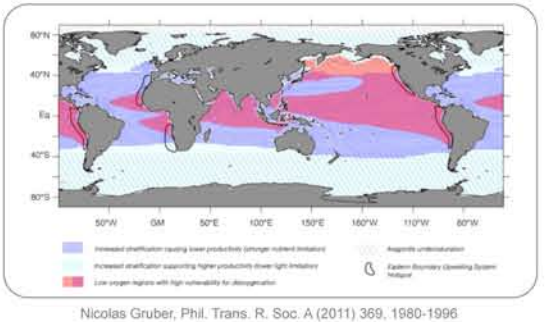
وقد انخفض متوسط الحموضة في الطبقة العليا من المحيط بمقدار 0.1 (30% زيادة في الحموضة) تقريباً منذ الثورة الصناعية، ومن المتوقع أن ينخفض أكثر بمقدار 0.3 وحدات من العامل الهيدروجيني بحلول نهاية هذا القرن إذا ما استمرّت انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون على معدّلها الحالي.

مشكلة ثلاثية -
عوامل إجهاد متعدّدة

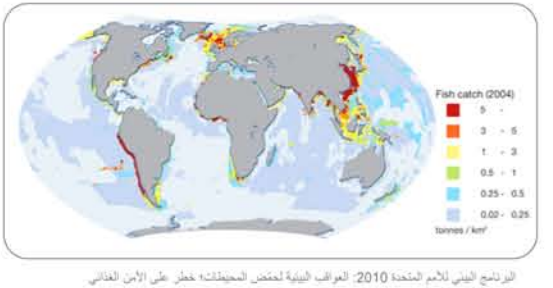
من المرجّح أن تتعرّض أجزاء كثيرة من المحيط في المستقبل إلى أكثر من عامل واحد من عوامل الإجهاد البيئي هذه في وقتٍ واحد، لأنها تنتج عن العملية الأساسية نفسها، وهي ارتفاع معدّل غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي وغيره من غازات الدفيئة. ولن تكون هذه "البقاع الساخنة" أكثر دفئاً وحسب، بل وعلى الأرجح أن تكون أكثر طباقيّة وذات حموضة زائدة وأكسجين أقل، مما يزيد الإجهاد على الحياة البحرية بطرق قد تتجاوز مجرّد الارتفاع في كلٍّ منها.

وعلى سبيل المثال، قد يجعل تحمّض المحيطات بعض الأنواع أكثر عرضة لتأثيرات ارتفاع درجة حرارة المياه، وقد يتسبّب ارتفاع غاز ثاني أكسيد الكربون إلى جانب انخفاض مستويات الأكسجين في صعوبات تنفسية. وتعمل هذه الإجهادات معاً على نحو أسرع على تهديد الدورات البيولوجية الكيميائية، والنظم الإيكولوجية، والسلع والخدمات التي يوفرها المحيط للمجتمع، وتؤدي بالتالي إلى زيادة المخاطر على الأمن الغذائي البشري وعلى الصناعات المعتمدة على النظم الإيكولوجية البحرية المنتجة. وعلاوة على ذلك، فإن التغييرات في تبادل الغازات بين الغلاف الجوي والمحيطات سيؤثر على التغيّر المناخي.

وعلى نحو هامّ ومثير للقلق فمن المرجح أن تتفق مواقع هذه "البقاع الساخنة" ذات الإجهاد المتعدّد مع مناطق ذات إنتاجية بحرية عالية والتي تدعم حالياً مصائد الأسماك الهامّة ومصائد الأسماك الأساسية في البلدان النامية (انظر الخرائط).



Nicolas Gruber, Phil. Trans. R. Soc. A (2011) 369, 1980-1996



البرنامج البيئي للأمم المتحدة 2010: العواقب البيئية لتحمّض المحيطات: خطر على الأمن الغذائي

احترار المحيط

على مدى العقود الأخيرة كان الاحترار في المحيطات نتيجة مباشرة لارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي بسبب "تأثير غازات الدفيئة". ويؤثر هذا الاحترار على تبادل الغازات بين سطح المحيطات والغلاف الجوي، ونقلها وتخزينها في المياه العميقة. وفي المناطق الدافئة من المحيط سيقلّ التمازج بين المياه العميقة الغنيّة بالمغذيات والمياه السطحية الفقيرة بالمغذيات، وخصوصاً في المناطق الاستوائية مع عواقب ضارّة بإنتاجية المحيطات، ويتناقص بالتالي الأمن الغذائي الذي توفره مصائد الأسماك تناقصاً ملحوظاً.

وعلى الأرجح أن يؤثر احترار المحيطات تأثيراً مباشراً على وظائف أعضاء الكائنات البحرية ويغيّر بالتالي التوزيع الجغرافي للأنواع، بما فيها الأسماك ذات الأهمية التجارية المتكيّفة جيّداً حالياً مع الظروف القائمة؛ ومثلاً فإنّ الارتفاع في درجة الحرارة يساهم بكل تأكيد في تراجُع أعداد سمك القد في شمال الأطلسي.

ويُعد المحتوى الحراري للمحيطات هائلاً وهناك ما يقارب 90% من الطاقة الناتجة عن احترار النظام الأرضي مخزّنة في المحيطات على مدى العقود الأخيرة. وقد سبق وأن بلغ متوسّط احترار سطح البحر حوالي 0.7 درجات مئوية على مدى القرن الماضي، وعلى الأرجح أن يرتفع بمقدار يزيد عن 3 درجات مئوية في بعض الأماكن في المحيط بحلول نهاية هذا القرن.

الخطوات القادمة

التخفيف: حيث إنّ تحمّض المحيطات ناتج عن غاز ثاني أكسيد الكربون تستدعي الحاجة إلى اتخاذ إجراءات تخفيف قوية للحد من انبعاثاته. ويجب أن يكون تراكم غازات الدفيئة الأخرى في الغلاف الجوي محدوداً أيضاً حيث تعمل جميعها على المساهمة في احترار المحيطات، وبالتالي نزع الأكسجين.

التكيّف: من الواجب أن توضع استراتيجيات تكيّفية، فالعالم يساهم فعلاً في تكوين كمية أساسية من الاحترار الإضافي والتحمّض ونزع الأكسجين، حتى وإنْ كان تثبيت معدّل غاز ثاني أكسيد الكربون ممكناً عند مستواه الحالي. ومن الاستراتيجيات الرئيسية ضمان محافظة النظام على قدرة مرونته القصوى، ومثلاً عن طريق المحافظة على التنوّع الحيوي أو حتى زيادته، والحفاظ على مجموعة متنوعة من الموائل. ومن الطرق المساعدة الأخرى الحد من الإجهاد البيني، مثل التأجُّن الساحلي والتلوث الناجم عن المواد العضوية وغير العضوية. ومع ذلك، فمع وضع معدّل التغيّر غير المسبوق في الاعتبار فإنّ التدابير التكيّفيّة وحدها من دون إجراءات التخفيف من غير المحتمل أن تكون كافية لتجنب معظم الضرر.

البحوث: إن البحوث ضرورية لتحسين معرفتنا وفهمنا لهذه الإجهادات الثلاثة المتصلة. فعلى سبيل المثال، لقد أصبح البحث في مجال تحمّض المحيطات مؤخراً موضوعاً يحتلّ أولوية عالية، في حين أنّ موضوع نزع الأكسجين لم يصل بعد إلى هذا المستوى من الاعتراف.

وما هو مفقودٌ حقاً هو الرؤية المشتركة، حيث يتم التحقيق في الآثار المجتمعة لعاملين أو ثلاثة من عوامل الإجهاد العاملة في وقت واحد. وقد تمّ البدء فعلاً بدراسات مخبريّة مفصّلة وتجارب ميدانية للرصد والنمذجة على مقياس إقليمي وعالمي، وذلك من خلال شراكات متعاونة متعددة التخصصات ودولية. وعلى نحو هام يجب تنمية القدرات البحثية عالمياً، لا سيما في البلدان النامية الضعيفة. ومن أجل فهم أفضل للتأثيرات على النظم الإيكولوجية وعواقبها على كل واحد منا فلا بُدّ للأبحاث أن تتبع وعلى نحو متزايد نهجاً متعدد التخصصات يشمل العلوم الفيزيائية والحيوية والكيميائية والاجتماعية والاقتصادية وعلوم الأرض. ويجب توفير سياسة مناسبة لهذه الأبحاث والعمل على تبادل المعرفة بين الباحثين وصناع القرار.

3

نقص الأكسجين في المحيط

إنّ نقص الأكسجين في المحيط هو انخفاض في الأكسجين المذاب في مياه البحر. ويمكن للتغيّر المناخي أن يؤثر على مستويات الأكسجين في المحيطات بعدة طرق. ويحدث ذلك بكل تأكيد في المحيطات الدافئة بما أنّ درجات الحرارة الأعلى تعمل على خفض قابلية ذوبان الأكسجين. ومن المرجّح أيضاً أن الاحترار يتسبب في زيادة طباقيّة المحيط، ومخفّضاً بذلك إمدادات الأكسجين الهابطة من سطح البحر. ويمكن لتحمض المحيطات والمغذّيات الجارية من الجداول والأنهار أن تساهم أيضاً في نزع الأكسجين.

تعتمد الأسماك وكثير من الكائنات البحرية الأخرى على مستويات كافية من الأكسجين كي تحيا، وقد تتعرّض بالتالي للإجهاد بفعل تراجع تركيز الأكسجين. وقد ينتج عن المناطق الممتدة المنخفضة الأكسجين استبعاد مثل هذه الكائنات. ومع ذلك، فعلى الأرجح أن تزدهر الكائنات الحية الأخرى الأكثر تحمّلاً لانخفاض الأكسجين، وخصوصاً الميكروبات، مبدّلة بذلك توازن مجتمعاتها. وقد تعمل مستويات الأكسجين المنخفضة في المحيطات أيضاً على زيادة كمية غازات الدفيئة في الغلاف الجوي من خلال تغيير آليات تفاعلية تنطوي على غاز الميثان وأكسيد النيتروز.

تشير نماذج المحيط الحالية إلى انخفاض يبلغ ما بين 1 و7% في المخزون العالمي للأكسجين خلال القرن القادم. ومع ذلك فليست هناك تأكيدات ذات اعتبار حول حجم التغيّرات الأكسجينية وموقعها وتأثيراتها البيئية.

دليل إجهاد المحيطات

ماذا سيواجه المحيط في هذا القرن من دون خفض عاجل في انبعاث غازات الدفيئة.

عامل إجهاد	الأسباب	النتيجة	الآثار المباشرة	التأثيرات	التأثيرات الناتجة على المناخ
الاحترار ● مجال دراسي متقدّم نسبياً من حيث التغيرات الفيزيائية والفسيولوجية، ولكنه غير مدروس بشكل غير كافٍ على مستوى النظم الإيكولوجية والبيوجيوكيميائية.	● زيادة انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي	● ارتفاع درجة الحرارة وخصوصاً عند المياه القريبة من السطح ● اختلاط أقل في المحيط بسبب زيادة التقسيم الطبقي ● زيادة جريان وذوبان الجليد البحري يساهم أيضاً في التقسيم الطبقي في مياه القطب الشمالي	● انخفاض ذوبان ثاني أكسيد الكربون ● زيادة سرعة العمليات الكيميائية والبيولوجية ● انخفاض إمدادات الإضافية للمغذيات الطبيعية في المياه أكثر طبقية	● إجهاد فسيولوجيا الكائنات الحيّة، وتشمل تبييض الشعاب المرجانية ● هجرة مكثفة للكائنات ● انقلاب أسرع في المواد العضوية ● إجهاد في المواد المغذّية على العوالق، وخاصة في المياه الدافئة ● **تغييرات على التنوع البيولوجي، والشبكات الغذائية والإنتاجية، مع عواقب محتملة على مصايد الأسماك وحماية السواحل والسياحة**	● انخفاض امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون نتيجة لتأثير الذوبان ● زيادة استهلاك الأكسجين، وإنتاج ثاني أكسيد الكربون، وانخفاض في نقل الأكسجين إلى أعماق المحيطات ● انخفاض محتمل في تصدير الكربون إلى باطن المحيطات ● انخفاض الإنتاج الأولي ما عدا في القطب الشمالي حيث فقدان الجليد البحري قد يؤدي إلى زيادته
التحمّض ● تمّ وضعه موضوعاً للبحث في العقد السابق	● زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ● قد يساهم تخصيب المغذيات الساحلية وانبعاثات هيدرات الميثان والغازات الحمضية الصناعية في نقص الأكسجين محلياً	● التغيير السريع غير المسبوق في كيمياء كربونات المحيطات ● يشكل جزء كبير من الحيطات عامل تآكل للحيوانات الصدفية والمرجان، وتبدأ آثارها في القطب الشمالي بحلول عام 2020	● انخفاض التكلس ومعدلات النمو والتكاثر لكثير من الكائنات ● تغييرات على تكوين الكربون والنيتروجين في المواد العضوية	● إعاقة نمو الهيكل العظمي أو الصدفة نتيجة للإجهاد الفسيولوجي عند أنواع كثيرة، وتشمل مرحلة الكائنات اليافعة ● تغييرات على التنوع البيولوجي والنظم الإيكولوجية، وعلى السلع والخدمات التي تقدّمها ● **على الأرجح أن تكون المياه الباردة والمتقلبة التي تدعم مصائد الأسماك الرئيسية والزراعة المائية حالياً أكثر ضعفاً على وجه الخصوص**	● انخفاض امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون بسبب التأثيرات الكيميائية ● تغييرات على تصدير الكربون إلى باطن المحيطات ● زيادة استخدام الأكسجين في جميع أنحاء عمود الماء بسبب التركيبة المتغيرة للمواد العضوية
نقص الأكسجين ● مسألة ناشئة ولم تُدرس بشكل عميق	● انخفاض قابلية ذوبان الأكسجين بسبب الاحترار ● انخفاض إمدادات الأكسجين إلى داخل المحيطات بسبب الاختلاط الأقل ● تحفز المواد الجارية الغنيّة بالمغذيات نزع الأكسجين محلياً.	● تتوفر كميات أقل من الأكسجين للتنفس، وخصوصاً في المناطق المنتجة والمناطق الداخلية للمحيطات ● مناطق ممتدة ذات أكسجين منخفض ومنخفض جداً	● تباطؤ نمو ونشاط الكائنات الحية التي تستخدم الأكسجين بما فيها العوالق الحيوانية والأسماك وغيرها ● تعطل الغدد الصماء	● إجهاد على الكائنات الحية المستخدمة للأكسجين ● خطر فقد الأنواع لموائلها في مناطق منخفضة الأكسجين ● آثار مترتبة على نجاح التكاثر ● **تحوّل تحوّل في الكائنات الحية التي تتحمل الأكسجين المنخفض وخصوصاً العضويات المجهرية وفقد خدمات النظام الإيكولوجي //*-في هذه المناطق**	● تعزيز إنتاج غازين من غازات الدفيئة، وهما الميثان وأكسيد النيتروز
كل الثلاثة معا ● بعض الدراسات	● زيادة انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، وخصوصاً ثاني أكسيد الكربون	● زيادة مساحات المياه التي لن تكون أكثر دفئاً وحسب، بل وذات درجة حموضة أعلى ومحتوى أكسجيني أقل	● ضرر على فسيولوجيا الكائنات الحيّة وتوازن الطاقة وتكون الأصداف: على سبيل المثال، تدهور الشعاب المرجانية	● يمكن لتحمّض المحيطات أن يقلّل قدرة التحمل الحراري عند الكائنات الحية، مما يزيد أثر الاحترار ● **تزيد التأثيرات المجتمعة المخاطر على الأمن الغذائي والصناعات التي تعتمد على أنظمة إيكولوجية بحرية صحية ومنتجة**	● تغيير رئيسي على فيزياء و كيمياء المحيط ونظمه الإيكولوجية ● مخاطر ردود فعل إيجابية متعددة على الغلاف الجوي، مما يزيد معدّل التغير المناخي في المستقبل

وعيكم يمكن أن يحدث فرقاً

بعد رفع مستوى التوعية بشأن تحمض المحيطات في اجتماعات اتفاقية الأمم المتحدة المبدئية بشأن التغير المناخي في (٢٠٠٩-٢٠١٥)، تُبدي الشراكة الدولية الآن كما هو مبين أدناه قلقها بشأن آثار عوامل الإجهاد المتعددة والمتفاعلة لتحمّض المحيطات، وارتفاع درجات حرارة المحيط، ونقص الأكسجين في أنظمة المحيطات التي ستحدث خلال العقود القادمة في عالم يغزوه ارتفاع غاز ثاني أكسيد الكربون. وقد تلقت هذه النشرة دعماً من المنظمات والبرامج الدولية.

لأي استفسار، يمكنكم الإتصال بنا على البريد الإلكتروني التالي: forinfo@pml.ac.uk
www.oceanunderstress.com.

الشركاء

مختبر بلايموث البحري
البروفسور ستيفن دي مورا؛ forinfo@pml.ac.uk, www.pml.ac.uk

Ocean Acidification International Coordination Centre
IAEA Peaceful Uses Initiative project, Ms Lina Hansson, L.Hansson@iaea.org

معهد سكريبس لعلم البحار في جامعة كاليفورنيا في سان دييغو
السيد روبرت منرو؛ rmonroe@ucsd.edu, www.sio.ucsd.edu

أوشيانا
السيدة جاكلين سافيتز؛ jsavitz@oceana.org, www.oceana.org

البرنامج البريطاني لأبحاث تحمّض المحيطات
27 معهداً شريكاً من المملكة المتحدة
الدكتورة كارول تورلي أوبي؛ ct@pml.ac.uk, www.oceanacidification.org.uk

المشروع الأوروبي لتحمّض المحيطات
32 معهداً شريكاً من 10 دول؛ Dr Jean-Pierre Gattuso, gattuso@obs-vlfr.fr, http://epoca-project.eu

تحمض البحر المتوسط في مناخ متغير
16 معهداً شريكاً من 10 دول؛ Dr Patrizia Ziveri, patrizia.ziveri@uab.cat, http://medsea-project.eu

التأثيرات البيولوجية لبرنامج تحمض المحيطات
19 معهداً شريكاً من ألمانيا؛ Prof. Dr. Ulf Riebesell, uriebesell@ifm-geomar.de, www.bioacid.de

هذه الرسالة تمت بدعم من:

يرجى ذكر هذه الوثيقة كالتالي: Turley C, Keizer T, Williamson P, Gattuso J-P, Ziveri P, Monroe R, Boot K, Huelsenbeck M: Hot, Sour and Breathless - Ocean under stress. Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification Research Programme, European Project on Ocean Acidification, Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate project, Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, OCEANA; 2016 6pp. **ISBN: 978-0-9519618-6-5**